This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

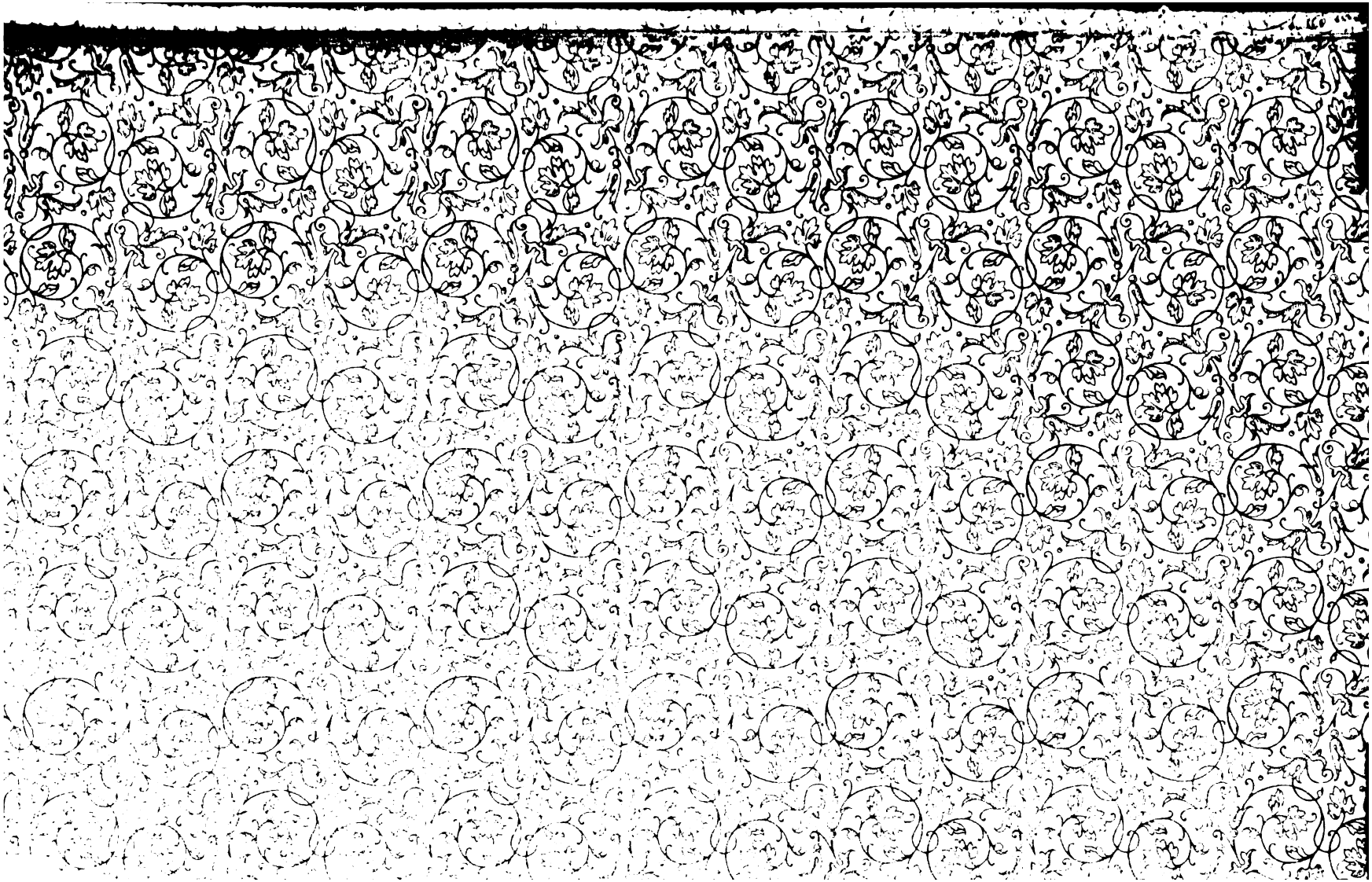
+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

University of Wisconsin
LIBRARY

Class SXP
Book .P33
3



TRAITÉ

DE

LA CHALEUR

III

1716-75 — Corbeil. Typ. et stér. de Crété.

TRAITÉ

DE

LA CHALEUR

CONSIDÉRÉE

DANS SES APPLICATIONS

PAR

E. PÉCLET

ANCIEN INSPECTEUR GÉNÉRAL DE L'UNIVERSITÉ
PROFESSEUR DE PHYSIQUE APPLIQUÉE AUX ARTS A L'ÉCOLE CENTRALE
MEMBRE DU CONSEIL DE LA SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT

Quatrième édition

PUBLIÉE

PAR A. HUDELO
Répétiteur à l'École centrale,
Secrétaire de la Commission des logements insalubres.

TOME TROISIÈME

PARIS
G. MASSON, ÉDITEUR
LIBRAIRE DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE
Boulevard Saint-Germain, en face de l'École de Médecine
M DCCC LXXVIII

55219
OCT 9 1900
SXP
.P33
671.2507

TRAITÉ

DE LA CHALEUR

LIVRE XII

CHAUFFAGE DES LIQUIDES

Les liquides peuvent être échauffés de différentes manières : 1° par l'action directe d'un foyer ; 2° par la vapeur ; 3° par circulation ; 4° par échange de température avec d'autres liquides. J'examinerai successivement ces différents modes de chauffage, ensuite le chauffage de l'eau des bains, les appareils de lessivage et les appareils d'économie domestique.

CHAPITRE PREMIER

Chauffage direct des liquides.

2042. Nous rappellerons d'abord quelques principes que nous avons déjà énoncés. Lorsqu'un liquide est renfermé dans un vase, on peut l'échauffer directement, en le plaçant sur un foyer et en faisant circuler la fumée autour des parois du vase. Si la circulation avait lieu seulement autour des parois et au-dessus du vase, l'échauffement se ferait avec une très-grande difficulté ; car les liquides sont très-mauvais conducteurs de la chaleur, et ne s'échauffent réellement que par les mouvements que la chaleur y produit. Quand la chaleur est appliquée à la partie inférieure du vase, les couches liquides qui sont immédiatement en contact avec le fond, et qui s'échauffent directement, deviennent spécifiquement plus légères que celles qui

sont au-dessus, s'élèvent et sont remplacées par d'autres, qui, après s'être échauffées, s'élèvent à leur tour. Il en est évidemment de l'échauffement des liquides comme de la vaporisation : la capacité des vases n'a aucune influence sur l'emploi utile du combustible ; c'est uniquement la surface de la chaudière qui transmet la chaleur ; par conséquent, cet élément est le seul qui doive être calculé de manière à enlever à l'air chaud la plus grande quantité possible de chaleur.

2043. Pour déterminer l'étendue de la surface de chauffe, on peut se servir des mêmes données que pour la vaporisation, c'est-à-dire estimer que la quantité de chaleur que transmet un mètre carré de surface est équivalente à celle qui vaporiserait de 15 à 30 kilogr. d'eau par heure. A la vérité, dans le cas dont il s'agit, si la température que doit acquérir le liquide était de beaucoup au-dessous de 100°, la quantité de chaleur qui passerait à travers une même étendue de la surface de la chaudière serait plus grande que si cette chaleur devait être employée à la vaporisation ; car nous avons vu que la chaleur qui traverse le métal augmente avec la différence entre la température moyenne de l'air chaud et celle du liquide ; mais l'accroissement de cette différence est peu considérable, et, d'ailleurs, il vaut mieux avoir un excès de surface. Ainsi on prendra 1 mètre carré de surface de chauffe pour 3 à 5 kilogr. de houille ou 6 à 10 kilogr. de bois à brûler par heure.

2044. La surface de la grille, la section des carneaux et celle de la cheminée se calculeront comme pour les chaudières à vapeur.

2045. Quand le liquide que l'on doit échauffer est volatil, il est important de fermer exactement la chaudière, ou du moins de la couvrir de manière que l'air qui est au-dessus du liquide ne se renouvelle pas facilement, parce que, l'évaporation qui aurait lieu absorbant une grande quantité de chaleur, l'effet utile du combustible serait diminué, et l'échauffement serait retardé. Il pourrait même arriver, si l'étendue de la surface du liquide était très-grande, relativement à la quantité de combustible brûlée dans le foyer, que la température du liquide ne pût pas dépasser une certaine limite.

2046. Tous les appareils que nous avons indiqués pour la vaporisation peuvent servir à l'échauffement des liquides ; mais on emploie toujours, pour ce dernier objet, les appareils les plus simples.

2047. Il est important de remarquer que, dans le chauffage des liquides, on peut utiliser presque complétement la chaleur dégagée, en produisant le tirage par la chaleur avant ou pendant la chauffe, ou par une action mécanique. Mais, dans presque tous les cas particuliers, il y a des conditions particulières à remplir, qui ne permet-

tent pas d'employer les moyens de chauffage les plus économiques

2048. Les figures 531 et 532 représentent deux coupes verticales d'une chaudière destinée à chauffer de l'eau, et dans laquelle les principes précédents sont mis à profit.

2049. On employait autrefois, pour le même objet, de grands cuviers renfermant un foyer intérieur dont la porte était percée dans la face du cuvier ; la fumée s'élevait d'abord jusqu'au niveau de l'eau, et redescendait pour s'élever de nouveau et gagner la cheminée. Cette disposition n'a réellement aucun avantage ; il est très-difficile de rendre étanches les joints de l'embrasure de la porte avec les douves du cuvier ; aussi ce mode de chauffage est-il abandonné, malgré l'économie des frais de premier établissement qu'il permet de réaliser. Ce système, mais avec des cuviers en cuivre, est cependant encore employé dans de petits établissements de bains.

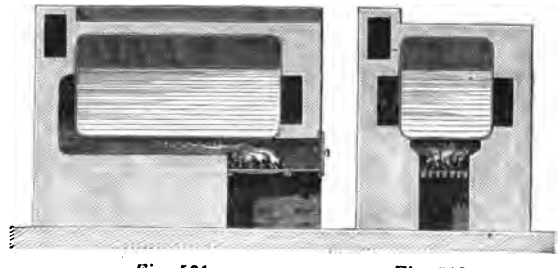


Fig. 531. *Fig.* 532.

2050. Dans les établissements des bains Vigier, situés sur la Seine, M. Darcet avait établi un système de chauffage de l'eau, dans lequel la totalité de la chaleur produite par la combustion était utilisée. L'appareil se composait d'une chaudière rectangulaire en tôle, à deux foyers, chauffée en dessous, et traversée par des tuyaux parcourus par l'air brûlé, qui s'élevait ensuite dans deux cheminées verticales en tôle communiquant à volonté avec un système de petits tuyaux horizontaux placés dans le réservoir d'eau froide ; à l'autre extrémité, ces petits tuyaux se rendaient dans une caisse fermée, communiquant avec le centre d'un ventilateur à force centrifuge ; celui-ci était mis en mouvement par un ouvrier, et produisait le tirage nécessaire à la combustion, quand on faisait passer l'air brûlé à travers les tuyaux placés dans le réservoir d'eau froide. La figure 533 représente une élévation des deux cheminées et une coupe verticale, dans le sens de la longueur, du reste de l'appareil ; et la figure 534, une coupe transversale du réservoir d'eau froide. Ce dernier avait 20 mètres de longueur, $1^m,30$ de largeur, et $1^m,20$ de hauteur ; les tuyaux, au nombre de douze, avaient $0^m,10$ de diamètre.

2051. Dans une expérience faite avec beaucoup de soin, on a brûlé

en deux heures 0,53 stères de bois pelard pesant 200 kilogrammes; on a élevé de 58°,75 la température de 7180 kilogrammes d'eau que renfermait la chaudière, et de 8°,75 la température de celle que contenait le réservoir, qui avait un volume triple. Cet effet est équivalent à 7180 kilogrammes d'eau élevée à 85°, ou à 20343 kilo-

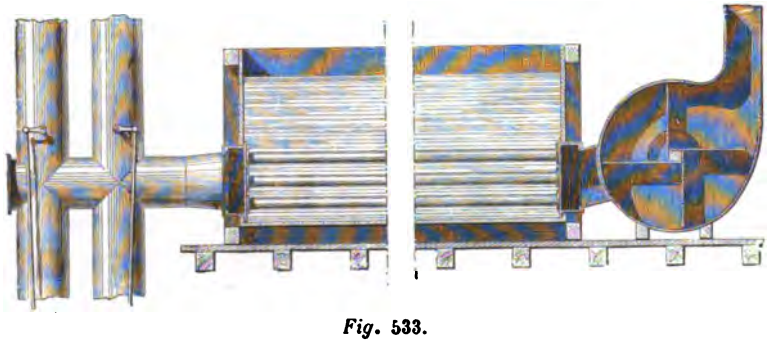


Fig. 533.

grammes d'eau chauffée de 30°, ou à 72 bains. Le prix du bois consommé étant de 0,53 × 17,50 = 9 fr. 27, le prix de revient de chaque bain est de $\frac{9,27}{72}$ = 0 fr. 13. On voit, d'après les détails que nous venons de donner, que, par l'emploi du ventilateur, l'effet utile a augmenté dans le rapport de 59 à 85. La disposition du fourneau n'était pas bonne; les foyers étaient trop petits, ainsi que les carneaux qui les suivaient: il en résultait que la flamme s'éteignait très-vite, et qu'il se produisait beaucoup de fumée; aussi les tuyaux qui traversent le réservoir d'eau froide étaient-ils promptement obstrués par une suie gluante, difficile à enlever. La surface de chauffe était suffisante, car elle était de 18^{mq} 60 pour 100 kilogrammes de bois brûlé par heure, et par conséquent chaque mètre carré correspondait à $\frac{100}{18,60}$ = 5^{k},3 de bois; mais toute la partie de la surface de chauffe inférieure des chaudières ne produisait que très-peu d'effet. La section de la cheminée était de dimension convenable.

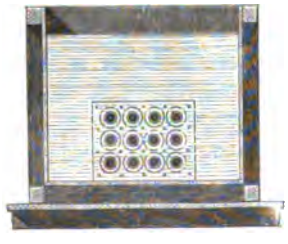


Fig. 534.

2052. On trouve dans quelques établissements de bains une disposition simple, qui produit beaucoup d'effet utile. Elle est représentée dans les figures 535 et 536.

L'appareil se compose d'une chaudière horizontale, réunie, par

une de ses extrémités, à une chaudière verticale de 3 mètres de hauteur, celle-ci renfermait neuf tubes verticaux en cuivre, fixés de la même manière que les tubes des chaudières des locomotives, et ouverts par les deux bouts. La maçonnerie est disposée de telle sorte que l'air brûlé entoure les deux parties de la chaudière, et qu'il puisse s'élever simultanément par les tubes intérieurs. A l'extrémité

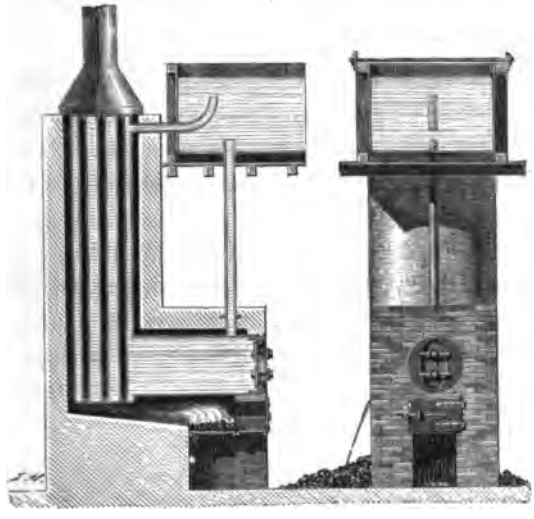


Fig. 535. *Fig.* 536.

supérieure de la chaudière se trouve un entonnoir renversé en tôle, destiné à conduire l'air brûlé dans la cheminée ; on l'enlève pour nettoyer les carneaux. Un réservoir placé à côté contient de l'eau qui est chauffée par circulation. L'appareil renferme 16^{mq} de surface de chauffe, et peut consommer 10 kilogrammes de houille à l'heure ; l'air brûlé s'échappe à la partie supérieure, à une température de 50 à 60° ; le tirage est très-bon, même quand le cône qui surmonte le fourneau est enlevé. Cette disposition, sous le rapport du faible espace occupé, de la simplicité de l'appareil et de l'effet utile produit, est supérieure aux autres.

CHAPITRE II

Chauffage par la vapeur.

2053. Un liquide peut être chauffé, au moyen de la vapeur d'eau, par deux procédés différents : 1° par la condensation de la vapeur

dans le liquide lui-même ; 2° par la circulation de la vapeur dans un serpentin, ou dans tout autre appareil analogue, plongé dans le liquide.

2054. *Échauffement d'un liquide par la condensation directe de la vapeur.* — Ce mode de chauffage n'est évidemment applicable que quand la condensation de la vapeur d'eau ne peut pas nuire à l'opération ; il est principalement employé pour les cuves de teinture, les cuves à papier, les bains, etc.

2055. Le calcul de la quantité de vapeur à fournir dans un temps donné, des dimensions de la chaudière, des tuyaux à vapeur et de tous les éléments des fourneaux, ne présente aucune difficulté. Supposons, par exemple, qu'il s'agisse, avec de la vapeur à 5^{at}, d'amener à l'ébullition dans une heure, et successivement, une série de cuves de teinture, contenant chacune 1000 litres d'eau à 15°. Lorsque l'ébullition sera déterminée, chaque kilogramme de vapeur condensée aura réellememt fourni au liquide à chauffer 652,94 — 100 = 552,94 unités de chaleur, puisque l'eau provenant de la condensation reste dans le liquide. Ainsi la quantité de vapeur à fournir par heure sera de $\frac{1000 \cdot 85}{552,94} = 153^{k},7$.

2056. Le chauffage par la vapeur présente, dans les teintureries et les papeteries, un très-grand avantage sur le chauffage direct : 1° parce que chaque cuve, devant être chauffée séparément, exigeait, dans l'ancien système, un foyer à part, tandis que, dans le nouveau, un seul suffit pour toutes, quelque nombreuses qu'elles soient ; ce qui produit une très-grande économie de combustible, car la perte de chaleur par les parois des fourneaux augmente avec leur nombre ; 2° parce que l'on n'a point à craindre dans le chauffage par la vapeur, comme dans le chauffage direct, l'altération des matières qui se déposent au fond des chaudières ; 3° parce que l'on peut avec une très-grande facilité, et par le seul mouvement d'un robinet, commencer, suspendre le chauffage, et maintenir le liquide à une température sensiblement constante ; 4° parce qu'enfin les cuves peuvent être en bois, et disposées arbitrairement dans toutes les parties de l'atelier.

2057. La disposition le plus généralement employée dans le chauffage par la vapeur consiste en un tube vertical plongeant au fond de la cuve, ouvert par le bas, et communiquant, par sa partie supérieure, avec une chaudière à vapeur. Mais pour éviter le bruit que les condensations subites de la vapeur occasionnent par cette

disposition, ainsi que les grandes oscillations de l'eau daus le tube, qui, dans certaines circonstances, pourraient la faire remonter jusque dans le générateur, on place au fond des cuves un tube en cuivre, contourné suivant la forme des appareils, et dont les parties latérales sont percées d'un grand nombre de petits trous très-capillaires; ce tube communique extérieurement avec un autre, qui amène la vapeur du générateur, et qui est garni d'un robinet et ordinairement d'une petite soupape à air, destinée à s'opposer au mouvement de l'eau de la cuve vers le générateur.

Les figures 537 et 538 représentent la disposition la plus ordinaire. A, cuve circulaire ; B, tuyau communiquant avec le générateur ; C, robinet à clapet, se fermant à l'aide de la manivelle *a;* D, soupape

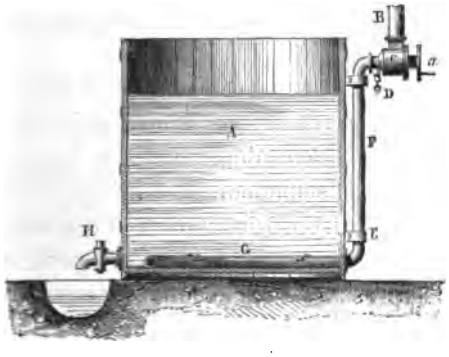


Fig. 537.

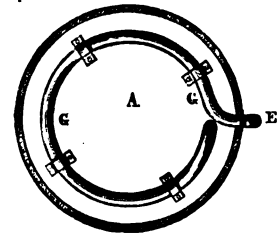


Fig. 538.

à air ; EF, tuyau latéral communiquant avec le tuyau intérieur GG, fermé par le bout, mais percé à sa partie inférieure, et un peu de côté, d'un grand nombre de trous capillaires ; H, robinet de vidange. Une disposition analogue est appliquée aux cuves rectangulaires destinées à passer des étoffes à la teinture.

2058. On place à l'extérieur des cuves le tube qui amène la vapeur dans les tubes de dégagement: d'abord, parce que, s'il était placé dans l'intérieur, il embarrasserait pendant les opérations; en second lieu, parce que la vapeur qui se condenserait dans ce tube réchaufferait plus la partie du liquide environnante que le reste de la masse et cette inégalité pourrait avoir des inconvénients dans quelques circonstances. On a remarqué que les trous de sortie de la vapeur grandissaient de près des deux tiers en deux ans: on a essayé de les remplacer par des fentes très-étroites ; mais la pression de la vapeur écartait les bords, et les tuyaux étaient promptement hors de service

2059. *Chauffage des liquides à la vapeur par un contact indirect.* — Ce mode de chauffage consiste à faire arriver la vapeur dans un serpentin ou un appareil équivalent, plongé dans le liquide que l'on veut chauffer, ou dans une enveloppe extérieure. Les appareils sont exactement les mêmes que ceux que nous avons décrits en parlant de l'évaporation par le chauffage à vapeur. La seule différence consiste en ce qu'on doit éviter les courants d'air en dessus, afin d'éviter l'évaporation et la perte de chaleur qu'elle occasionnerait. Lorsque le liquide doit être amené à 100°, et à plus forte raison à une température supérieure, la vapeur doit être employée à haute pression. Du reste, tous les calculs que nous avons faits pour l'évaporation sont applicables au simple chauffage ; il faut seulement, pour déterminer la quantité de chaleur à fournir dans un temps donné, multiplier la chaleur spécifique du liquide par son poids et par l'accroissement de sa température.

On calculerait les surfaces de chauffe, en admettant que la quantité de vapeur condensée par mètre carré et par heure, pour une différence de température de 1°, est de 5 à 7 kilogrammes, si l'appareil de condensation est un serpentin, et seulement de 1 kilogramme à 3 kilogrammes, si l'appareil n'est pas disposé de manière à expulser complétement l'air. Quelle que soit la disposition de l'appareil, il serait avantageux de maintenir la pression dans le condensateur, au moyen d'un régulateur de pression (1726, 1972 et suivants).

2060. Dans la fabrication du sucre on emploie pour la carbonatation des jus chaulés, des bacs en tôle à section carrée, dans lesquels ces jus, introduits froids, doivent être portés à une température de 70°. Un bac destiné à traiter 40 hectolitres par chaque opération a $1^m,40$ de haut et $2^m,40$ de large ; il renferme un serpentin en cuivre formé de trois spires de $1^m,95$ de diamètre ; les tuyaux de ce serpentin ont $0^m,10$ de diamètre. La vapeur arrive dans le serpentin à 5 atmosphères ; l'écoulement de l'eau condensée est assuré au moyen d'un ballon allemand, la chauffe dure 15 minutes environ. Il est facile de déterminer la quantité de vapeur nécessaire pour produire la chauffe et celle qui est condensée par mètre carré, par heure et par degré d'excès moyen de la température.

Les 40 hectolitres d'eau qui constituent la charge de la chaudière exigent pour être portés de 10 à 70°, une quantité de chaleur égale à 240000 calories ; l'échauffement durant un quart d'heure, la quantité de chaleur à fournir en une heure sera 960000 calories, ce qui, à raison de 550 calories par kilogramme de vapeur conden-

sée, exigera $436^k,3$ de vapeur par opération, ou $1745^k,5$ par heure.

La surface de chauffe du serpentin est de $5^{mq},76$ et l'excès moyen de la température est de 112° ; de sorte que la quantité de chaleur à fournir par mètre carré et par heure sera égale à $\frac{960000}{5,76 \times 112} = 1488$ calories, et par suite la quantité de vapeur condensée par heure, par mètre carré de surface de chauffe et par degré moyen d'excès de la température sera $\frac{1488}{550} = 2^k,70$. Ces nombres ne peuvent être considérés que comme des minima, puisqu'on n'a point tenu compte de la chaleur qui se perd par les parois du bac et par l'évaporation à la surface du liquide.

CHAPITRE III

Chauffage par circulation.

2061. Ce mode de chauffage est représenté dans la figure 539. La chaudière est placée à côté de la cuve à chauffer, mais elle pourrait en être plus ou moins éloignée ; les parties supérieures et inférieures

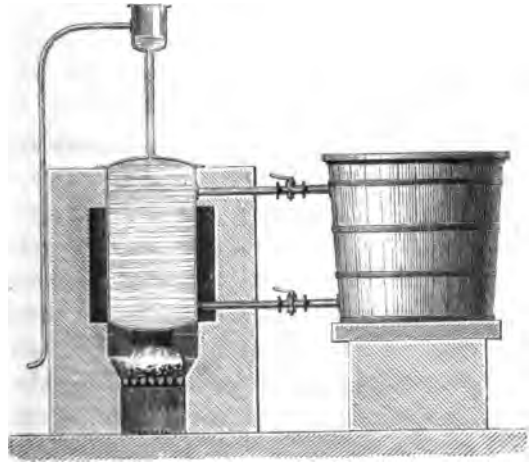


Fig. 539.

des deux vases communiquent par des tubes garnis de robinets. La circulation s'effectue comme dans les calorifères à eau chaude. Plusieurs cuves pourraient évidemment être chauffées par la même chau-

dière, et des robinets permettraient de régler les courants partiels qui les parcourent.

2062. On peut aussi chauffer un liquide par la circulation d'un autre liquide, comme on le voit dans la figure 540. L'appareil se compose de plusieurs cuves renfermant chacune un serpentin dont les

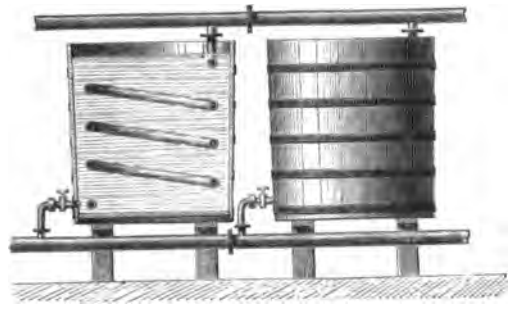


Fig. 540.

extrémités communiquent, par le haut et par le bas, avec deux tuyaux aboutissant, l'un à la partie supérieure, et l'autre à la partie inférieure de la chaudière, dans laquelle on échauffe l'eau qui doit transmettre sa chaleur aux liquides renfermés dans les cuves.

CHAPITRE IV

Chauffage d'un liquide par échange de température avec un autre liquide.

2063. Ce mode de chauffage peut présenter des avantages dans quelques industries, parce qu'il permet souvent d'utiliser la chaleur de liquides devenus inutiles et qu'on abandonne à une température assez élevée, et celle qui est produite par le refroidissement des liquides dont la température doit nécessairement être abaissée.

2064. Deux liquides à des températures différentes, renfermés dans le même vase, mais séparés par des cloisons métalliques, prennent la même température après une action suffisamment prolongée. Si on désigne par P, c et t le poids, la capacité calorifique et la température du premier, par P′, c' et t' les quantités analogues pour le second, et par θ la température finale commune, en négligeant la perte de chaleur par les surfaces libres des liquides et du vase, la

chaleur renfermée dans les liquides n'aura pas changé, et on aura

$$Pct + P'c't' = \theta(Pc + P'c'); \quad \text{d'où} \quad \theta = \frac{Pct + P'c't'}{Pc + P'c'}.$$

2065. Il en serait de même, si les liquides, n'ayant point d'action chimique l'un sur l'autre, étaient mêlés. En supposant que les liquides soient les mêmes, $c = c'$, on aura $\theta = \frac{Pt + P't'}{P + P'}$; si les deux poids sont égaux, on a $\theta = \frac{t + t'}{2}$; et il est facile de voir que la chaleur étant toujours répartie entre les deux liquides en raison de leur poids et de leurs capacités calorifiques, la chaleur de l'un ne pourra jamais passer complétement dans l'autre. Mais il n'en est plus ainsi quand les deux liquides se meuvent en sens contraire, en restant en contact avec une même paroi métallique.

2066. Considérons deux vases renfermant l'un de l'eau à 100°, l'autre de l'eau à la température ordinaire ; supposons que le liquide du premier s'écoule par un long tube d'un petit diamètre, et que celui du second s'écoule par un tube environnant le premier, mais en sens contraire ; supposons encore que les orifices d'écoulement soient pourvus chacun d'un robinet destiné à rendre égaux les volumes de liquide écoulés dans le même temps, et qu'enfin le tube enveloppant soit recouvert d'une matière conduisant mal la chaleur, de manière à pouvoir négliger la chaleur perdue par sa surface. Il est évident que, si les sections des tuyaux d'écoulement ne sont pas trop grandes, si leur longueur est suffisante, on pourra toujours régler les vitesses d'écoulement de manière à ce qu'il y ait échange complet de température ; car le liquide qui s'échauffe rencontre toujours, dans son mouvement, le liquide chaud à une température plus élevée. Il est nécessaire que les tuyaux d'écoulement n'aient qu'une petite section, afin qu'il n'y ait qu'une faible différence dans les températures des divers points des tranches transversales.

2067. Si les deux liquides ont des capacités calorifiques différentes, pour qu'il y ait échange complet de température, leurs poids doivent être en raison inverse de leurs capacités calorifiques. Si la valeur de $P'c'$ du liquide qui s'échauffe était plus grande que celle de Pc du liquide qui se refroidit, le refroidissement serait encore complet, mais la température acquise par le liquide qui s'échauffe serait inférieure à celle du liquide chaud. Si le contraire avait lieu, il est évident que le refroidissement du liquide chaud ne serait pas complet.

Les principes que nous venons d'énoncer sont connus depuis très-longtemps. Il paraît que la première application en a été faite par Nickols, dans la disposition d'un réfrigérant destiné aux brasseries, et qui est antérieure à 1824.

2068. Au lieu de faire écouler les liquides en sens contraire, par des tuyaux concentriques ou des dispositions équivalentes, on pourrait faire écouler le liquide chaud par une série de vases renfermant des serpentins qui seraient parcourus en sens contraire par le liquide à échauffer; dans chaque vase, les deux liquides prendraient sensiblement la même température; l'échange de chaleur ne serait jamais complet, mais il en approcherait d'autant plus que le nombre des vases serait plus considérable. Cette méthode aurait cet avantage que les dépôts que pourrait former le liquide chaud ne gêneraient en rien la circulation, et qu'ils pourraient être facilement enlevés. Supposons, par exemple, que les deux liquides aient sensiblement la même capacité calorifique, que T soit la température de l'eau chaude, t la température de l'eau froide, et que les volumes des deux liquides, écoulés dans le même temps, soient égaux. S'il n'y a qu'un vase, la température des deux liquides sera

$$\frac{T+t}{2}.$$

2069. S'il y a 2 vases, désignons par T,T′,T″, les températures de l'eau chaude à son entrée dans le premier vase, dans le second et à sa sortie; par t, t', t'', les températures de l'eau froide à son entrée dans le second vase, dans le premier et à sa sortie. On aura évidemment :

$$t'=\frac{T+t'}{2}\ ;\ t'=\frac{T'+t}{2}\ ;\ T'=t''\ ;\ T''=t'\ ;\ \text{d'où}\ t''=\frac{2T+t}{3}.$$

S'il y avait 3 vases, on aurait de même :

$$t'''=\frac{T+t''}{2}\ ;\ t''=\frac{T'+t'}{2}\ ;\ t'=\frac{T''+t}{2}\ ;\ t''=T'\ ;\ t'=T''\ ;\ t=T''\ ;$$

d'où

$$t''=\frac{3T+t}{4}.$$

2070. On trouverait de même que pour 4, 5, 6,... 10 vases, la température de sortie de l'eau échauffée serait de

$$\frac{4T+t}{5}\ ;\ \frac{5T+t}{6}\ ;\ \frac{6T+t}{7}\ldots\ldots\ldots\ldots\ \frac{10T+t}{11}.$$

En supposant T =70°, t = 15, pour

1, 2, 3, 4, 5, 6,... 10

vases, les températures de sortie de l'eau échauffée seraient de

42°,50; 51°,6; 56°,25; 59°,00; 60°,83; 62°,00;... 65°.

2071. Quand les appareils sont destinés à produire un échange de chaleur entre deux liquides qui ne produisent pas de dépôts pendant leurs mouvements, ils peuvent être disposés d'un grand nombre de manières différentes ; les plus avantageuses seraient celles dans lesquelles il y aurait le moins de joints, où les mouvements provenant des variations de température pourraient s'effectuer librement. Si la circulation avait lieu verticalement, il faudrait garnir les points culminants de petits tuyaux pour le dégagement de l'air. Il est impossible de déterminer d'avance l'étendue que doivent avoir les surfaces de transmission, pour que l'échange de température entre deux masses liquides connues à des températures également connues ait lieu dans un temps donné ; les phénomènes sont trop compliqués, non-seulement pour être calculés, mais seulement assimilés à ceux qui se produisent dans le chauffage des liquides par la vapeur; mais la durée de l'échange n'est jamais une condition bien importante, pourvu qu'elle ne dépasse pas une certaine limite, qui d'ailleurs peut être prévue par des expériences faites sur une petite échelle.

2072. Dans les brasseries, le moût, après sa cuisson, doit être promptement refroidi. Cette opération s'exécute souvent en le plaçant dans des cuves en bois ou en métal, d'une grande surface, où le liquide n'occupe qu'une petite hauteur, comprise entre $0^m,10$ et $0^m,20$; le refroidissement provient de l'évaporation, du rayonnement et de l'échauffement de l'air. Pour activer le refroidissement, on se sert aussi d'un courant d'eau froide, en perdant la chaleur qu'elle acquiert. On emploie souvent maintenant des réfrigérants à eau, disposés de manière à produire un échange de température qui permette d'employer utilement l'eau échauffée. Je ne parlerai que de ces derniers appareils; les autres ne seront examinés que quand il sera question du refroidissement.

2073. Le plus ancien appareil est celui de Nickols ; il est formé de trois tuyaux concentriques. Le moût passe entre le plus extérieur et le suivant, l'eau entre celui-ci et le plus intérieur. Il est très-effi-

cace ; mais il tient beaucoup de place, et ne peut pas facilement être nettoyé.

2074. Les figures 541 et 542 représentent, la première une coupe verticale, la seconde une coupe horizontale d'un réfrigérant de MM. Schiers et Son, qui était, il y a vingt ans, répandu dans les brasseries anglaises. *a*, *a*, *a*,... sont des canaux fermés en dessus et en dessous, qu'un des deux liquides parcourt successivement dans le sens indiqué par les flèches. Les canaux rectangulaires *b*, *b*, *b*, qui séparent les premiers, sont fermés latéralement et parcourus par l'autre liquide, mais dans un sens perpendiculaire au premier mouvement, de sorte que dans le premier circuit les vitesses sont horizontales et successivement en sens contraire, tandis que dans le

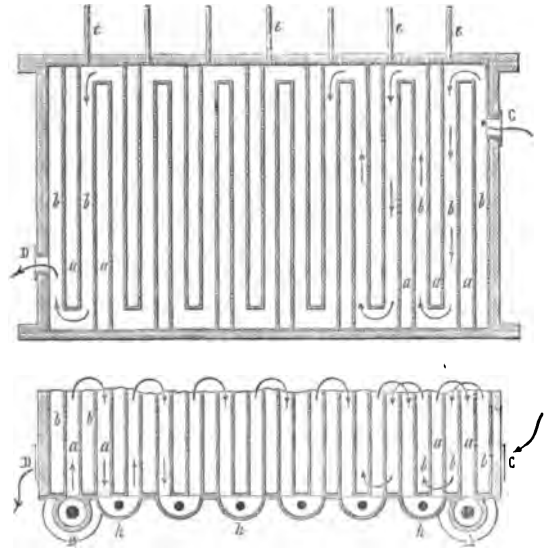


Fig. 541 *et* 542.

second les vitesses sont verticales et successivement de bas en haut et de haut en bas. L'enveloppe extérieure est en fonte, les cloisons intérieures en cuivre étamé. B représente l'entrée du moût, A sa sortie, C l'entrée de l'eau froide, D sa sortie. *h*, *h*,.... appendices qui établissent les communications des canaux horizontaux ; *e*, *e*, tubes pour l'écoulement de l'air par la partie supérieure des canaux verticaux. Un appareil qui a $1^m,55$ de largeur, $2^m,80$ de longueur, et $0^m,84$ de hauteur, renferme 80 mètres carrés de surface de refroidissement. D'après M. Lacambre, qui en avait fait établir un dans la

grande brasserie de Louvain, on a refroidi en 2 heures à 22°, 120 hectolitres de moût bouillant, avec 200 hectolitres d'eau froide qui a été portée à 65°. Cet appareil a l'avantage de réunir une grande surface de chauffe dans un petit volume ; mais il est difficile à nettoyer, car pour faire cette opération il faut démonter les pièces *h*, *h*, *h*, ce qui exige beaucoup de temps et de soins.

2075. Les figures 543, 544, représentent une coupe verticale et une coupe horizontale d'un appareil employé dans les brasseries

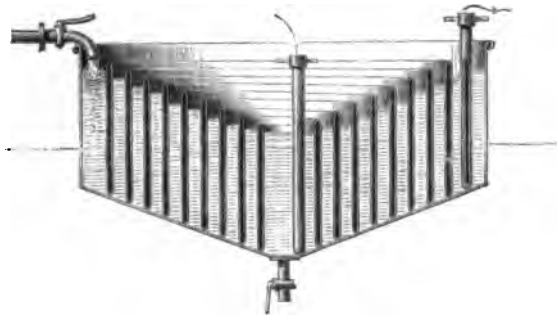


Fig. 543.

anglaises, qui n'offre pas l'inconvénient que je viens de signaler. Il se compose d'un serpentin courbé en spirale, à section rectangulaire allongée, placé dans un vase de cuivre ; le serpentin est parcouru par l'eau, et les intervalles des spires par le moût, mais en sens contraire. Pour se servir de cet appareil, on règle les robinets d'entrée et de sortie du moût, de manière qu'il remplisse les intervalles des spires du serpentin. Cet appareil peut se nettoyer facilement sans rien déranger et le serpentin pourrait même facilement être enlevé ; il est d'ailleurs beaucoup plus simple que le précédent, et lui est bien préférable.

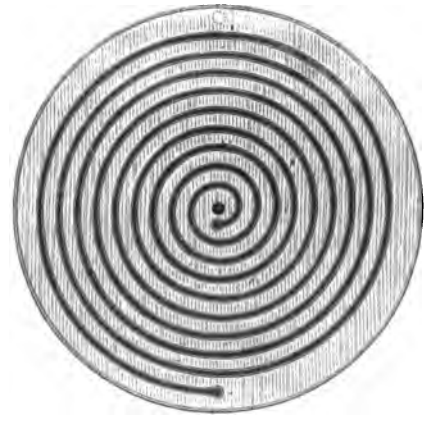


Fig. 544.

2076. L'ouvrage de M. Lacambre sur la fabrication des bières, auquel nous avons emprunté les détails qui précèdent, renferme en-

core la description d'un autre appareil qui existe dans plusieurs brasseries anglaises, et notamment dans celle de Windsor. La figure 545 représente le plan de l'appareil. *a a a a*, réservoir en cuivre, garni de chicanes verticales *b*, *b*, destinées à obliger le moût à suivre les contours du serpentin *c*. A et B, entrée et sortie du moût ; C

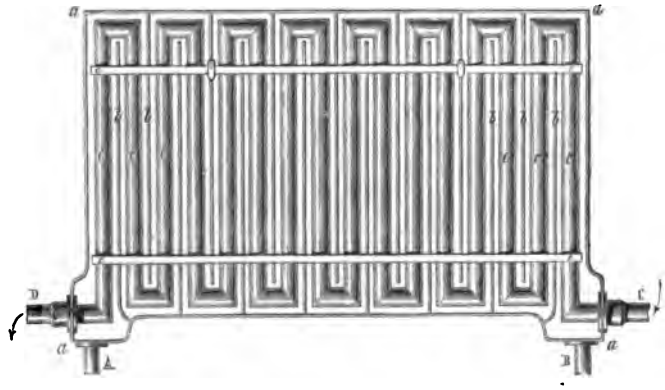


Fig. 545.

et D, entrée et sortie de l'eau. Le serpentin est composé, tantôt de tuyaux cylindriques, tantôt d'un seul tuyau aplati, à section rectangulaire. En démontant les extrémités C et D, il est facile de faire sortir le serpentin *e* de la caisse dans laquelle il est logé.

2077. La figure 546 représente une coupe verticale de l'appareil imaginé par M. Pimont de Rouen, et qu'il a appliqué aux bains de teinture épuisés. A, A, cuves rectangulaires en bois épais, placées sur

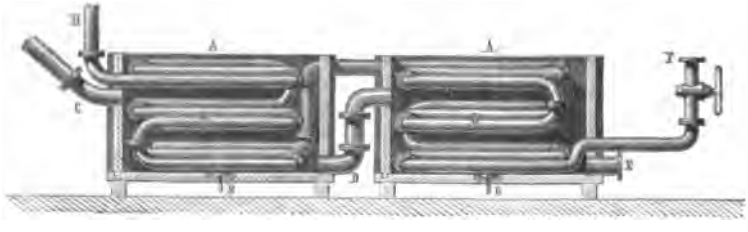


Fig. 546.

une même ligne ; B, B, soupapes pour l'écoulement des eaux refroidies ; C, tuyau d'arrivée des eaux des bains épuisés dans la première cuve ; D, tuyau qui conduit ces eaux de la partie inférieure de chaque cuve à une certaine hauteur dans la suivante ; E, tuyau d'écoulement

des eaux des bains à l'extérieur, lorsqu'elles ont été refroidies ; F, tuyau d'arrivée de l'eau froide ; G,G, serpentins à trois étages, placés dans les cuves, et qui sont parcourus successivement par l'eau pure ; H, tuyau d'écoulement de l'eau pure échauffée. L'appareil complet renferme jusqu'à 120 mètres carrés de surface de chauffe. Les effets produits ont été constatés par plusieurs séries d'expériences faites par différents fabricants. D'après une de ces séries, la température moyenne des eaux de bains épuisés était de 58°, celle de l'eau chauffée de 53°. Dans une journée de travail de 11 heures, l'appareil avait reçu les eaux de 70 cuves renfermant chacune de $0^{mc},750$ à $0^{mc},800$, c'est-à-dire de $56^{mc},00$ à $42^{mc},50$, et le volume d'eau chaude fourni était de $43^{mc},200$. Dans une autre série, la température moyenne des eaux sales était de 56°, celle de l'eau échauffée de 48° ; le volume des eaux sales écoulées par jour était de $40^{mc},00$, et celui de l'eau froide était de 37^{mc}. Dans une autre expérience, qui a duré une heure, l'appareil a reçu $3^{mc},10$ d'eau sale à 66°, et a rendu $3^{mc},33$ d'eau propre à 50° ; on reprenait ainsi environ les 0,8 de la chaleur.

2078. *Observations sur les différents appareils décrits.* — L'appareil de Nickols, le plus ancien de tous, que je n'ai fait qu'indiquer, serait certainement le meilleur pour produire l'échange de température, si ses dimensions étaient convenables et si sa surface extérieure était couverte d'une matière conduisant mal la chaleur ; mais sa trop grande longueur, et surtout la difficulté du nettoyage, le placent sous le rapport industriel au-dessous des autres, du moins quand les eaux chaudes forment des dépôts.

2079. L'appareil de MM. Scniers et Son a l'avantage d'occuper peu de place ; les surfaces de refroidissement sont bien utilisées, car les 80^{mc} de surfaces de transmission suffisent au refroidissement de 6^{mc} de moût par heure, de 100° à 22° ; mais il a le grand inconvénient de la difficulté du nettoyage.

2080. Les dispositions indiquées par les figures 541, 542, 543, 544, ont l'inconvénient de placer le courant d'eau à chauffer entre deux courants qui marchent en sens contraire, mais qui sont nécessairement à des températures différentes, et par conséquent l'effet produit est moindre que si chaque courant élémentaire d'eau chaude était environné de courants d'eau froide particuliers. Dans la disposition indiquée figure 545, chaque courant d'eau froide suit bien un courant d'eau chaude opposé ; mais les courants séparés par une simple cloison métallique, et qui se meuvent en sens contraire, ne s'échauffent pas autant que s'ils étaient rectilignes. Dans la disposi-

tion des figures 543 et 544, il faudrait évidemment que les spires fussent séparées par une lame de matière non conductrice, qui diviserait en deux parties égales l'espace intermédiaire. Dans le cas de la figure 545, les cloisons de lames métalliques minces devraient être formées de lames épaisses de matières conduisant mal la chaleur.

2081. L'appareil de M. Pimont occupe beaucoup de place, et les surfaces de transmission ne sont pas bien utilisées, parce que les mouvements en sens contraires n'ont pas lieu d'une manière prononcée, et que les sections des deux circuits sont trop grandes. C'est d'ailleurs ce qui résulte des nombres que nous avons rapportés ; dans l'appareil de MM. Schiers et Son, avec 70 mètres carrés de surfaces de transmission on a refroidi dans une heure 6^{mc} de moût de 100° à 22° ; et par conséquent on a chauffé 5 mètres cubes d'eau à 65° ; tandis que dans les appareils de M. Pimont, l'effet des 120 mètres carrés de surfaces de transmission, serait d'échauffer à peu près à 48°, environ 4 mètres cubes d'eau froide par heure, les eaux chaudes sales étant à 56°. Il est important de remarquer que si l'eau froide était entrée à 15°, par le seul fait de l'égale répartition de la chaleur entre les deux masses égales, supposées de même capacité calorifique, la température commune serait de 35°. A la vérité, dans une série d'expériences faites à Mulhouse, les eaux chaudes sales étant à une température de 67°,54, les eaux propres sous le même volume ont été, en 2 heures 1/2, échauffées à 65°,50, mais les volumes des eaux ont été seulement de 1^{mc},600 et par conséquent de 0^{mc},64 par heure, et il est naturel que l'échange des températures se fasse d'autant mieux que les mouvements sont plus lents.

2082. M. Pimont, quoique son appareil soit bien inférieur à ceux qui produisent un effet analogue dans la fabrication de la bière et dans d'autres industries, a cependant rendu un service réel aux propriétaires d'établissements de teinture en appelant leur attention sur la perte énorme de chaleur résultant de l'abandon des eaux chaudes des bains épuisés, et en leur offrant un appareil qui utilisait cette chaleur.

2083. La disposition qui nous paraîtrait la meilleure pour effectuer l'échange de température entre deux liquides est représentée en coupe verticale et en coupe horizontale dans les figures 547 et 548; cette dernière est une coupe par le plan XY de la première. L'appareil se compose d'une série de caisses verticales très-étroites, ayant à peu près 1 centimètre de largeur, ouvertes en dessus et

fermées en dessous, et séparées les unes des autres par des intervalles d'égale largeur ; ces caisses communiquent toutes par le bas avec une petite caisse A par laquelle arrivent les eaux neuves, et latéralement un peu au-dessous de la partie supérieure avec une caisse B, par laquelle s'écoule le liquide échauffé ; les intervalles communiquent, à la partie supérieure, avec la caisse latérale C par laquelle arrivent les eaux chaudes, qui s'écoulent à la partie inférieure par la tubulure D. On voit d'après cette disposition qu'en réglant convenablement les écoulements des eaux neuves et des eaux sales, les mouvements de ces liquides ayant lieu en sens contraires dans des canaux très-étroits, on peut obtenir un échange à peu près complet de température, et que les canaux parcourus par les deux liquides peuvent facilement être nettoyés, tous étant ouverts à la partie supérieure.

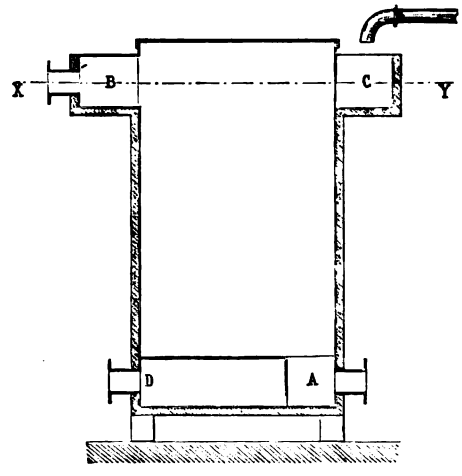


Fig. 547.

Pour éviter la perte de chaleur par l'évaporation à la partie supérieure, on pourrait fermer l'appareil par un couvercle en bois recouvert d'une lame métallique brillante. Les deux liquides tendront à se mouvoir régulièrement par tranches isothermes ; les eaux sales parce qu'elles descendent en se refroidissant, les eaux neuves parce qu'elles s'élèvent en s'échauffant. Cette disposition n'a qu'un inconvénient, celui de ne pas permettre de maintenir une certaine pression dans les eaux neuves qui s'échauffent, à cause de la nécessité de conserver ouverts les canaux parcourus par les deux courants pour permettre le nettoyage ; il serait toutefois possible de l'éviter en fermant hermétiquement le couvercle supérieur par un joint qu'on pourrait faire ou défaire promptement.

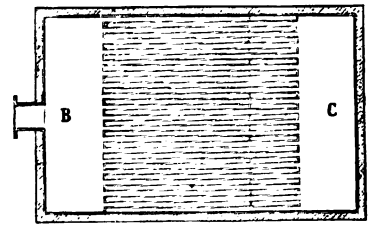


Fig. 548.

2084. On emploie beaucoup actuellement en Angleterre, et on commence à employer en France, pour le refroidissement des moûts de bière, des vinasses, ou des moûts épais de distillerie, les réfrigérants capillaires de MM. Lawrence et Cie. Cet appareil est essentiellement formé de deux lames en cuivre, courbées de façon à former un canal très-étroit, contourné et placé verticalement, la figure 549 représente une section d'une partie de ce canal ; l'appareil complet est représenté figure 550. A est l'arrivée du moût qui est distribué au moyen d'une rigole et par des trous placés de chaque côté sur chacune des faces ondulées de l'appareil, le long desquelles il descend en couche extrêmement mince pour se rendre dans une rigole nférieure, d'où il s'écoule par le tuyau B ; l'eau froide pénètre dans

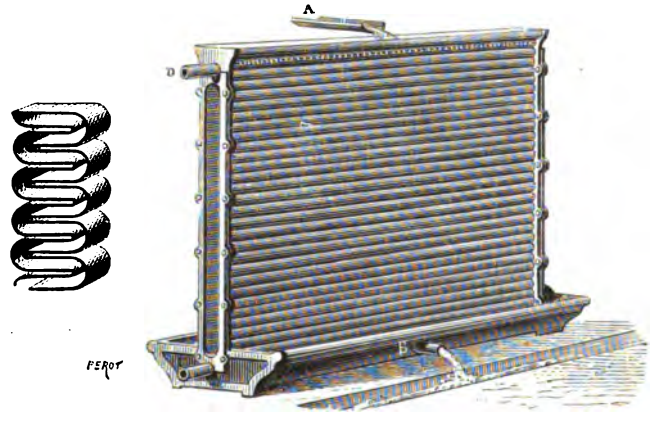


Fig. 549 *et* 550.

l'intérieur de l'appareil par le tuyau C et sort par le tuyau D. En donnant à cet appareil un développement suffisant, on peut obtenir un refroidissement très-rapide et amener le moût à une température qui ne dépasse pas de un demi-degré celle de l'eau. Quand on veut obtenir des moûts de basse fermentation, on peut les refroidir jusqu'à 3 ou 4° en divisant l'appareil en deux parties, par une section horizontale, ou mieux en le formant de deux parties ondulées, l'une au-dessus de l'autre dans un même plan vertical ; dans la partie supérieure circule de l'eau froide ; dans la partie inférieure circule de l'eau glacée. Le nom de réfrigérant capillaire est donné à cet appareil parce que le moût se maintient par capillarité dans la partie creuse formée par deux ondulations successives ; il faut observer cependant que le moût ne séjourne pas dans ces intervalles et qu'il est continuelle-

ment expulsé par celui qui descend le long des ondulations en couche mince.

Quand on veut soustraire le moût à l'influence de l'air atmosphérique, on peut adapter de chaque côté de l'appareil un volet qui tourne autour d'une charnière placée à la hauteur des trous de distribution des moûts et qu'on peut écarter à volonté de façon à diminuer plus ou moins l'influence de l'air extérieur.

Ces réfrigérants sont surtout remarquables par la facilité de nettoyage qu'ils présentent ; il suffit en effet pour enlever les dépôts laissés par les moûts, de brosser leur surface extérieure.

Un réfrigérant de $1^m,80$ de longueur et de $1^m,20$ de hauteur suffit pour refroidir de 75° jusqu'à un degré au-dessus de la température de l'eau de source ou de rivière employée, 33 hectolitres de moût par heure.

Quand il s'agit de moûts épais, comme de ceux des distilleries de grains, les appareils ne diffèrent de ceux qui sont employés pour les moûts de bière que par la dimension des courbures qui sont un peu plus grandes pour faciliter le nettoyage.

2085. Les liquides peuvent être encore échauffés par l'immersion des vases qui les renferment dans d'autres vases renfermant les liquides chauffés directement. Ce mode de chauffage, qu'on appelle au *bain-marie*, ne présente aucune particularité importante à signaler, j'indiquerai plus loin quelques dispositions de ce genre employées principalement pour la préparation du bouillon.

CHAPITRE V

Chauffage des bains.

2086. La quantité de chaleur à produire par heure est facile à calculer dans chaque cas en particulier. Le volume d'eau renfermé dans une baignoire est d'environ 280 litres, la température à peu près de 30°. En désignant par t la température de l'eau froide, la quantité de chaleur employée au chauffage de l'eau sera de 280 $(30-t)$. En prenant $t=12°$ qui représente à peu près la température moyenne annuelle à Paris, la quantité de chaleur absorbée serait de $280°.18 = 5040$; ce qui est à peu près la quantité de chaleur qu'on utilise par la bonne combustion de 1 kilogramme de houille.

Au prix actuel de ce combustible, la dépense de chauffage varierait de 0 fr. 03 à 0 fr. 05.

2087. Voici quelques renseignements sur un des plus grands établissements de bains de Paris non situé sur la Seine. Chaque bain renferme 280 litres d'eau. La température moyenne des bains est de 30° en hiver et de 28° en été. L'établissement donne par jour 80 à 100 bains en hiver, 180 à 200 en été. Dans une année, on a chauffé 35796 bains pour lesquels on a brûlé 318 voies de bois pélard de 750 kilogrammes, à 30 francs ; en ajoutant au prix d'achat 445 francs de frais de voiture et de transport, la dépense totale de combustible s'est élevée à 9985 francs, et pour chaque bain 0 fr. 28. Depuis on a remplacé le bois par la houille, dont la voie de 15 hectolitres ras pesant de 1,000 à 1200 kilogrammes a été payée 58 fr. 20, et le prix moyen du bain, déduit de la consommation moyenne de trois années, pour 170000 bains, a été réduit à 0 fr. 186. Au prix du bois, en supposant qu'il contienne 33 p. 100 d'eau, le prix de 1000 unités de chaleur serait de 0 fr. 015, tandis que pour la houille la valeur de 1000 calories serait seulement de 0 fr. 007, un peu moins de moitié ; si la houille employée avait été de bonne qualité et si la combustion avait été faite dans de bonnes conditions, le prix d'un bain chauffé à la houille aurait été de 0 fr. 140.

2088. D'après les renseignements recueillis par M. Darcy, ingénieur en chef des ponts et chaussées (*Rapport de la commission chargée en* 1850 *d'étudier la question des bains et lavoirs publics*), dans l'établissement thermal d'Enghien, la dépense moyenne annuelle par bain, y compris le combustible nécessaire pour élever l'eau à 15 ou 20 mètres de hauteur, a été de 0 fr. 23 ; c'est la moyenne de 4 années ; la dépense minimum d'une année a été de 0 fr. 165. Dans deux autres établissements situés dans l'intérieur de Paris, la dépense était seulement de 0 fr. 125. La différence entre le résultat du calcul et des expériences en grand résulte du chômage pendant lequel la température de l'eau doit être maintenue constamment au même point. Aux bains d'Enghien dans les mois de mai, juillet et octobre, les prix de revient du chauffage d'un bain sont 0 fr. 40 ; 0 fr. 157 ; 0 fr. 363 ; pendant le premier et le dernier mois il y avait peu de baigneurs, et beaucoup plus dans le second. A l'hospice de la Salpêtrière, où il n'y a point de chômage, le prix de revient de chaque bain est de 0 fr. 10 ; l'excès de prix sur celui qui résulte du calcul provient de l'interruption forcée du chauffage pendant la nuit. Dans les établissements de Paris, en ajoutant à la dépense de chauf-

fage le prix de l'eau fournie par la ville, soit 0 fr. 05 par bain, les frais de personnel, le loyer et les impositions, l'entretien du matériel un bain revient à 0 fr. 47.

2089. Une disposition de chaudières qui me paraît convenable est celle qui a été indiquée (2052). Seulement il serait avantageux de diviser la chaudière en deux parties ; la partie horizontale fournirait de la vapeur ou de l'eau bouillante, et la partie verticale servirait à échauffer l'eau froide du réservoir. Beaucoup d'autres combinaisons pourraient être employées pour abandonner l'air brûlé à une température peu élevée en produisant le tirage avant ou pendant le chauffage ; dans toutes, une condition importante à remplir consiste à diminuer autant que possible le refroidissement du fourneau pendant la nuit.

2090. Dans un des bains établis sur la Seine on remarque un appareil destiné à élever l'eau et qui fonctionne sans dépense de combustible depuis un grand nombre d'années. C'est une machine dans laquelle la vapeur presse directement sur le liquide pour l'élever ; elle consomme beaucoup plus de vapeur, pour produire le même effet, que les machines à piston, mais comme toute la vapeur employée pour monter le liquide sert en même temps et en totalité à l'échauffer, il est presque indifférent d'en consommer une plus ou moins grande quantité.

2091. Les figures 551 et 552 représentent la disposition de l'appareil dont il est question. A est un réservoir en cuivre exactement fermé ; sa partie inférieure communique par un tube avec la partie supérieure d'un cylindre B, garni d'une soupape s'ouvrant de bas en haut et au-dessous de laquelle se trouve le tube d'aspiration. Le même vase A communique avec la partie inférieure d'un autre cylindre C, également muni d'une soupape, s'ouvrant aussi de bas en haut, et au-dessus de laquelle se trouve un tube E destiné à conduire l'eau dans un réservoir supérieur. Sur le couvercle du vase A, sont fixés deux tubes, garnis des robinets *a* et *b*, et communiquant, l'un avec le réservoir d'eau supérieur, et l'autre avec une chaudière à vapeur. Sur le tuyau F est ajusté un petit tube ouvert à son extrémité et garni d'un robinet *c*. Le vase A renferme un flotteur H plus léger que l'eau et d'un diamètre peu différent de celui du vase ; *mn* est un tube de verre destiné à indiquer le niveau du liquide. Voici maintenant comment on fait fonctionner cet appareil. On ouvre le robinet *b* qui donne accès à la vapeur, et le robinet *c* ; après quelques instants, l'air du vase A a été expulsé et il se trouve remplacé par la vapeur ; on

ferme alors les robinets *b* et *c*, et on ouvre pendant quelques secondes le robinet *a;* la vapeur se condense, et le vase A se remplit d'eau froide par suite du soulèvement de la soupape B ; en ouvrant ensuite le robinet *b*, l'eau est refoulée dans le canal d'ascension E. Le flotteur H a pour objet de diminuer la quantité de vapeur condensée à la surface de l'eau, en empêchant cette surface de se renouveler par l'agitation.

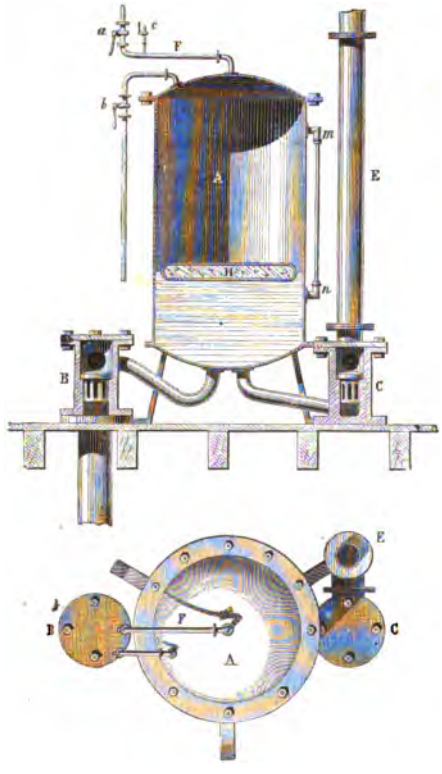


Fig. 551 *et* 552.

Cet appareil, analogue à ceux qui sont connus dans les fabriques de sucre sous le nom de *monte-jus*, exige une manœuvre assez compliquée, qu'on a cherché à éviter en faisant ouvrir mécaniquement les robinets par différents moyens. Manoury d'Ectot a fait construire, il y a longtemps, à l'abattoir de Grenelle, une machine dans laquelle les mouvements des robinets *a* et *b* étaient produits par les variations de dilatation qu'éprouvaient deux tiges, l'une de fer, l'autre de cuivre, placées dans l'intérieur du vase, lorsqu'il était plein de vapeur ou d'eau froide. L'appareil était disposé comme celui que nous venons de décrire ; un tube de fer était fixé sur les bords d'un orifice percé à la partie inférieure du vase, et s'élevait près de sa paroi jusqu'à son sommet ; il renfermait une tringle de cuivre plus longue, fixée à sa partie supérieure, et qui dépassait l'extrémité inférieure, en sortant du vase ; l'extrémité libre de cette tringle agissait à l'aide de plusieurs leviers sur les clefs des robinets à eau et à vapeur, de manière à les ouvrir et à les fermer aux moments convenables. J'ai vu marcher cet appareil ; il fonctionnait, mais avec embarras, et exigeait beaucoup de surveillance.

2092. M. Gengembre a fait construire les machines des bains

Vigier dont j'ai parlé (2091); l'appareil est disposé comme l'indiquent les figures 551 et 552, mais les robinets d'accès de la vapeur et celui d'injection d'eau froide se règlent d'eux-mêmes ; ces machines marchent régulièrement, depuis un très-grand nombre d'années ; elles sont assez simples, et fonctionnent sous un faible excès de pression. Je les ai décrites avec beaucoup de détails dans la seconde édition de cet ouvrage; je n'en reproduirai pas la description. Ce genre d'appareil exige que la couche d'eau froide ne soit pas située à plus de quelques mètres en contre-bas (l'élévation de l'eau n'ayant lieu que par le vide partiel résultant de la condensation de la vapeur), et le plus souvent il sera aussi avantageux de lui substituer une petite machine à vapeur à piston, à haute pression, sans condensation, en employant ensuite la vapeur détendue à chauffer l'eau; le travail ne coûterait presque point de chaleur; mais il faudrait faire condenser la vapeur dans des tuyaux placés dans le réservoir d'eau froide, car, par une condensation directe, l'eau pourrait acquérir une mauvaise odeur et être salie par la graisse entraînée par la vapeur, et de plus il se produit toujours un bruit qui pourrait être incommode dans des établissements de bains.

2093. Une économie assez considérable, susceptible d'être réalisée dans tous les établissements de bains, consisterait à faire passer la chaleur, des eaux sales dans les eaux propres, au moyen des dispositions que nous avons indiquées (2073 et suiv.). Dans ce cas, les pertes se réduiraient presque au refroidissement de l'eau, pendant la durée des bains. Il y aurait en outre une diminution dans la perte de chaleur des fourneaux pendant la nuit et dans les intervalles de chômage, parce que les dimensions des appareils seraient beaucoup plus petites. On pourrait craindre que le public ne pensât que les eaux propres ne fussent mêlées aux eaux sales, mais il serait facile de le rassurer à cet égard, en lui faisant comprendre et voir par un petit appareil qui fonctionnerait toujours, comment s'effectue la transmission de la chaleur, et qu'il est réellement dans l'intérêt de l'établissement de ne pas effectuer ce mélange. Les eaux des bains après leur usage pourraient aussi être colorées avec différentes matières à bon marché qui feraient facilement reconnaître le mélange s'il existait, même en très-petite proportion.

2094. L'application de ce principe ne présenterait aucune difficulté dans les établissements où les baignoires sont toujours occupées, comme par exemple à l'hospice de la Salpêtrière, parce que

le courant d'eau sale est presque continu, et peut facilement être rendu régulier. Mais quand il y a une grande variation dans le nombre des baignoires occupées à chaque instant, il faudrait nécessairement réunir les eaux sales dans un réservoir, environné de matières conduisant mal la chaleur, qu'on ne viderait que quand il serait plein, en appelant en même temps un égal volume d'eau pure.

2095. Le rapport de la commission qui avait été chargée en 1850 d'étudier la question des bains et lavoirs publics, et dont j'ai parlé plusieurs fois, contient un mémoire de M. Darcy, dans lequel cet habile ingénieur examine les moyens qu'on pourrait employer afin de diminuer le prix des bains pour la classe ouvrière de Paris. M. Darcy propose d'abord de se servir des eaux de condensation des machines à vapeur de la ville, dont les eaux moyennement à 38° sont versées dans les égouts ; les machines à vapeur de Chaillot, fournissant plus de 2,000 hectolitres d'eau chaude par jour permettraient de donner 700 bains dont le chauffage ne coûterait rien, et qui reviendraient chacun à peu près à 0 fr. 125, en retranchant du prix de revient moyen 0 fr. 475 comprenant tous les frais, la dépense de chauffage et le prix de l'eau. Je partage complétement l'opinion de M. Darcy, mais les eaux de condensation ne pourraient pas être utilisées directement, parce qu'elles sont salies par les matières grasses entraînées par la vapeur ; ainsi il faudrait qu'elles fussent employées à échauffer le même volume d'eau propre à peu près à la même température. Avec cette modification on pourrait donner à la classe ouvrière un grand nombre de bains à très-bon marché, dans tous les établissements de la ville ou de l'État où se trouvent des machines à vapeur à condensation. Avec quelques encouragements on obtiendrait la création de pareils établissements dans les grandes usines particulières ; et dans tous avec une très-légère dépense de combustible on parviendrait à utiliser plusieurs fois de suite la même chaleur.

2096. M. Darcy propose en outre de chauffer l'eau dans un établissement central qui la distribuerait par des tuyaux souterrains aux établissements voisins ; mais la perte de chaleur par ces tuyaux de communication serait très-considérable, surtout si le régime n'était pas permanent. Un chauffage direct de l'eau dans chacun, en utilisant la chaleur des eaux sales, serait bien préférable.

2097. Enfin M. Darcy pense qu'on parviendrait facilement à réduire partout le prix des bains pour la classe ouvrière en formant

dans chaque établissement plusieurs classes de bains distinguées par l'état du matériel et à des prix différents, par analogie à ce qui a lieu dans les convois du chemin de fer. Ce système pourrait être avantageux dans les localités où les différentes classes de la société sont mêlées; il ne serait pas applicable à Paris, ou du moins il aurait peu de chances de succès, parce que les différentes classes de la population s'y trouvent très-diversement disséminées.

2098. Les eaux du puits artésien de Grenelle qui sont à une température voisine de 28°, toute l'année, et dans une grande partie de leur parcours, présenteraient évidemment une très-grande économie sous le rapport de leur chauffage direct, pour les établissements de bains.

Nous parlerons des bains à domicile quand il sera question des appareils d'économie domestique.

CHAPITRE VI

Blanchissage.

2099. Pendant longtemps le blanchissage du linge s'est fait exclusivement, soit dans les maisons particulières à des époques plus ou moins éloignées, soit chez de petits industriels, opérant sur une échelle restreinte. L'imperfection des appareils de lessivage et des moyens de produire le séchage maintenait cet état de choses qui tend aujourd'hui à se modifier par l'emploi des machines, d'appareils perfectionnés et séchoirs artificiels. L'opération du blanchissage est d'ailleurs d'une grande importance, aussi bien à cause des dépenses qu'elle entraîne que de son action sur la durée du linge; et on ne doit négliger par conséquent aucune des améliorations dont elle est susceptible.

2100. Le blanchissage s'effectue par plusieurs opérations distinctes: 1° l'*essangeage:* c'est le lavage du linge sale dans une eau claire et courante afin d'enlever les matières solubles dans l'eau; 2° l'*encuvage:* rangement du linge essangé dans un cuvier sur un fond mobile et percé de trous; 3° le *coulage:* cette opération consiste à faire passer la lessive provenant des cendres de bois ou de l'eau dans laquelle on a fait dissoudre du carbonate de soude ou de potasse, au travers du linge rangé dans la cuve, d'abord à froid, puis à des températures croissantes jusqu'à 100°. Dans la plupart

des ménages, le fourneau destiné à chauffer la lessive est à côté de la cuve ; on verse à la main sur le linge le liquide chaud, qui, après avoir passé à travers, s'écoule le plus souvent directement dans la chaudière. Le coulage, fait ainsi, dure de 15 à 24 heures; 4° le *savonnage,* qui a pour but d'enlever les taches qui ont résisté au coulage ; 6° le *rinçage:* lavage à l'eau claire et courante pour enlever la lessive et le savon ; 6° le *passage au bleu;* 7° l'*essorage* ou le *tordage;* 8° enfin le *séchage* qui se fait le plus souvent par l'exposition du linge à l'air libre ou dans des greniers et quelquefois dans des séchoirs à air chaud.

2101. Le procédé que nous venons de décrire a plusieurs graves inconvénients : 1° il exige un temps très-long et un grand volume de lessive ; 2° la température de la lessive est au-dessous de 100°, ce qui n'est pas suffisant pour enlever certaines taches ; 3° la consommation de combustible est considérable ; 4° le cuvier et la chaudière étant généralement ouverts, il y a constamment dans la pièce un dégagement de vapeur incommode et nuisible. Toutefois on peut supprimer ce dernier inconvénient, en mettant un couvercle, et en faisant monter la lessive par une pompe.

2102. On peut ranger les appareils de lessivage en cinq classes: 1° les anciens appareils que nous venons d'indiquer sommairement ; 2° ceux dans lesquels la lessive est montée par la pression de la vapeur ; 3° les appareils à circulation continue ; 4° les appareils à vapeur ; 5° les appareils mécaniques.

2103. Les appareils dans lesquels la lessive est remontée par la pression de la vapeur, se composent ordinairement d'un cuvier à double fond au-dessous duquel se trouve une chaudière ; celle-ci communique par un tuyau placé latéralement avec le double fond et par un autre tuyau placé dans l'axe du cuvier avec la partie supérieure ; chacun des tuyaux est muni d'un robinet. Il résulte de cette disposition que lorsqu'on chauffe la lessive dans la chaudière fermée, la pression de la vapeur la fait monter dans le tuyau central du cuvier d'où elle est projetée sur le linge. L'on fait ensuite communiquer la chaudière avec l'atmosphère et avec le double fond, la lessive passe à travers le linge et revient à la chaudière par le tuyau latéral. On continue ainsi jusqu'à ce que le linge soit convenablement lessivé.

2104. M. René Duvoir a construit sur ce principe un appareil de lessivage ingénieusement disposé ; il est représenté dans la figure 553. AA, massif du fourneau ; B, B′, chaudières ; C, cuvier ; F, tuyau as-

cendant partant des chaudières ; G, calotte qui termine le tuyau ; H, tuyau descendant ramenant la lessive dans la chaudière ; II, grille en bois sur laquelle on place le linge ; LL, charpente portant les cuviers ; *a*, *a*, flotteurs ; *b*, *b*, leviers à contre-poids auxquels sont at-

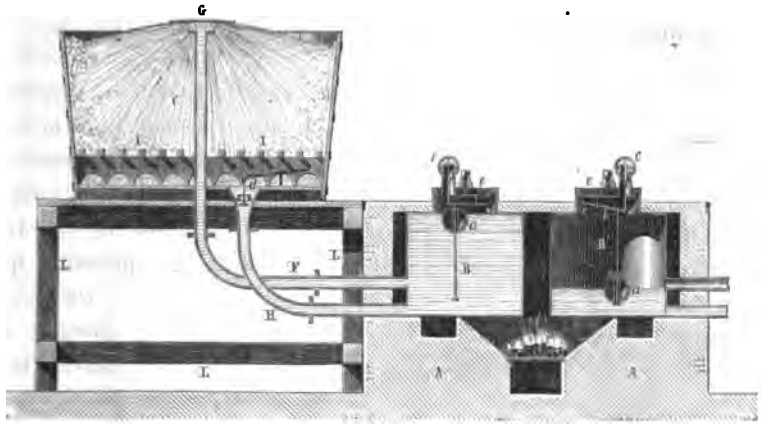


Fig. 553.

tachées les tiges des flotteurs ; *c*, *c*, soupapes à air ; *d*, soupape pour la fermeture du tuyau descendant ; *e*, *e*, couvercles des chaudières serrés par des vis. La vapeur formée dans la chaudière presse le liquide et le fait monter par le tuyau F sous la calotte G, qui le projette sur le linge dans tous les sens. Lorsque tout le liquide est monté, le flotteur *a* fait ouvrir la soupape à air *c* ; alors la soupape *d* s'ouvre par la pression du liquide, et la lessive qui a passé sur le linge retourne à la chaudière par le tuyau H. Aussitôt que la chaudière est remplie, la soupape à air se ferme par l'effet de l'élévation du flotteur. L'équilibre s'établissant, la soupape *d* se ferme, et les mêmes effets se reproduisent périodiquement.

Cet appareil est un des premiers qui aient apporté dans le lessivage une grande économie de temps et de combustible. Il a toutefois le grand inconvénient de projeter immédiatement la lessive bouillante sur le linge ; ce qui rend souvent les taches presque indélébiles.

Comme on le voit dans la figure, un même foyer peut servir pour deux appareils distincts de lessivage.

2105. On a employé quelquefois dans les blanchisseries un peu importantes, la disposition indiquée par la figure 554, dans laquelle

la lessive est à la fois chauffée et élevée par la vapeur. Dans le double fond du cuvier A, se trouve un tuyau DD, percé de petits trous et communiquant avec une chaudière à vapeur par le tube E ; un tuyau central B descend près du fond et s'élève à la partie supérieure où il est surmonté d'un chapeau. Lorsque la lessive s'est écoulée dans le double fond, on ouvre la communication avec la chaudière, la vapeur arrive dans la lessive, la chauffe, et, ne pouvant s'échapper à travers le linge placé entre les deux grilles de bois HH et II, produit une pression qui fait monter la lessive. On ferme ensuite les robinets jusqu'à ce que le liquide ait de nouveau traversé les toiles. GG est un couvercle placé pour empêcher les vapeurs de se répandre dans la pièce ; CC, un cylindre en bois qui préserve du contact du linge le tuyau métallique B ; F, un robinet qui sert à faire écouler la lessive à la fin de l'opération.

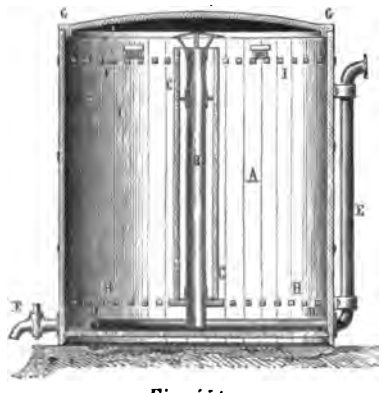


Fig. 554.

2106. Le lessivage par circulation continue peut s'effectuer simplement par une disposition analogue à celle que nous avons décrite figure 539. La chaudière et le cuvier sont placés à la même hauteur et communiquent par des tuyaux situés l'un près du fond, l'autre à la partie supérieure. On remplit l'une et l'autre de lessive, et, en chauffant sous la chaudière, il s'établit une circulation continue comme dans le chauffage à l'eau chaude décrit (198). Ce système exige une quantité considérable de lessive, et par suite une dépense beaucoup plus grande de sel de soude et de combustible. La saponification se fait en outre très-lentement ; il faut 25 à 30 heures pour lessiver le linge convenablement.

2107. La figure 555 représente l'appareil de lessivage de MM. Muller et Bouillon, qui peut être rangé dans la classe des appareils à circulation continue. Il se compose d'une chaudière en fonte A placée dans le sous-sol, et construite de manière à présenter une grande surface de chauffe, tout en renfermant un faible volume d'eau ; le linge est disposé sur un grillage dans un cuvier M, fermé par un couvercle, autour d'un tube placé dans l'axe et surmonté d'un chapeau. Le cuvier communique à son centre, par le tuyau *tt*, avec la partie

supérieure de la chaudière, et en un point de la circonférence, par le tuyau *t'*, avec la partie inférieure. Lorsqu'on chauffe la chaudière et que la température est arrivée à 60° environ, la lessive monte dans le tube central et vient se déverser sur le linge ; à partir de ce moment il s'établit une circulation continue, à des températures croissantes jusqu'à 100°. Pour que l'arrosage puisse commencer à la température ordinaire et se continuer à des températures graduées, une

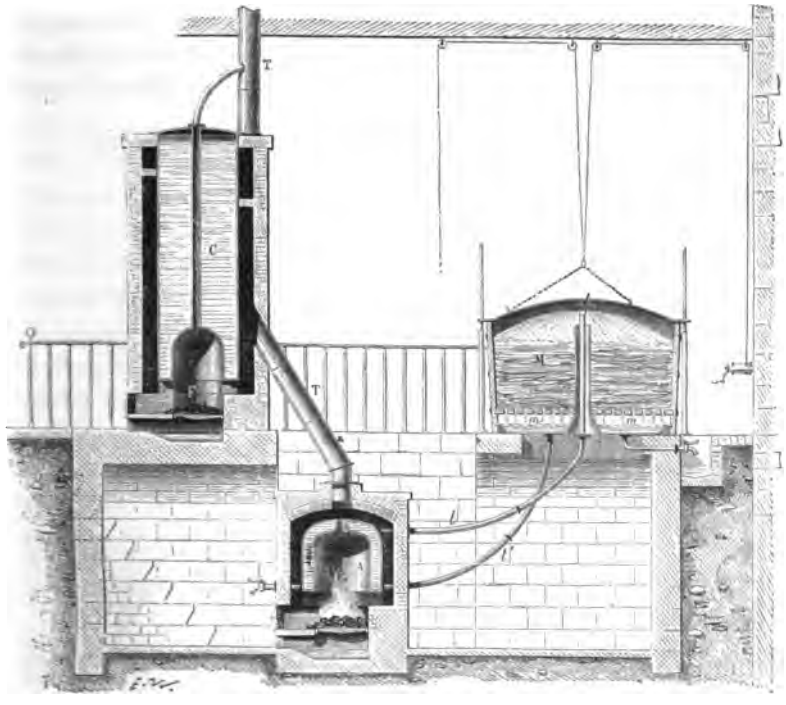


Fig. 555.

pompe est placée latéralement au cuvier et permet de verser la lessive sur le linge dès le commencement de l'opération.

Afin d'utiliser une partie de la chaleur renfermée dans les gaz qui ont servi à chauffer la chaudière à lessive, et qui s'échappent par la cheminée TT, MM. Muller et Bouillon placent au niveau du sol une chaudière C pleine d'eau qui est portée à 50° et qu'on peut employer à divers usages. Un foyer spécial F permet de la chauffer lorsque la chaudière de lessivage ne fonctionne pas.

Avec cet appareil la durée du lessivage est réduite à 4 heures, et

on voit que toutes les conditions nécessaires à un bon blanchissage sont remplies.

D'après M. Corbin, les appareils de ce genre employés aux Invalides consomment 120 kilogrammes de charbon par cuve de 1,000 kilogrammes ou par couple de 500 kilogrammes de linge.

2108. Dans les grandes buanderies, qui sont pourvues de générateurs, le chauffage et le mouvement de la lessive s'obtiennent par la vapeur des chaudières. L'appareil représenté figure 556 se compose alors d'une cuve A en tôle présentant un double fond formé par un grillage à claire-voie en bois B ; au-dessous de la cuve se trouve un cuvier C réuni à la cuve et dont le couvercle percé d'orifices O porte

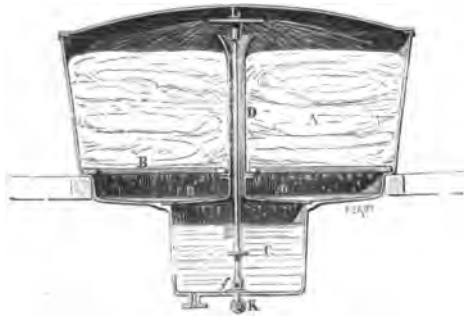


Fig. 556.

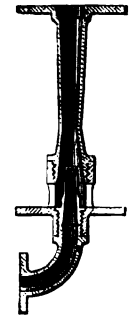


Fig. 557.

un tube central vertical ; dans l'axe de ce tube s'en trouve un autre fixé au fond du cuvier et percé d'orifices *f* ; un jet de vapeur amené par le tube est produit à la base et dans l'axe du tube E, le cuvier C reçoit la lessive de carbonate de soude ; le linge est déposé au-dessus du plancher à claire-voie B dans le cuvier A ; la lessive entraînée par le jet de vapeur monte dans le tube E jusqu'à la calotte E d'où elle se déverse sur le linge qu'elle traverse ensuite pour retourner au cuvier ; la figure 557 représente la disposition du jet de vapeur.

Une cuve destinée au chargement de 850 kilogrammes de linge humide a 2 mètres de diamètre et $0^m,90$ de hauteur ; le cuvier a $0^m,85$ de diamètre et $0^m,60$ de hauteur ; il reçoit 480 litres de lessive contenant de 12 à 25 kilogrammes de carbonate de soude suivant l'état du linge ; la durée de l'opération est de 4 heures et demie à 6 heures, et la consommation en vapeur est de 90 à 100 kilogrammes par heure.

2109. La figure 558 représente un appareil portatif basé sur les

mêmes principes. Le foyer F est placé directement au-dessous du cuvier. La lessive, renfermée dans le double fond *mm*, monte, quand elle est chauffée, par le tube *ab*, se répand sur le linge M et revient dans le double fond par le tuyau *t'*. La pompe P amène la lessive sur le linge, par le tuyau *tt* au commencement de l'opération.

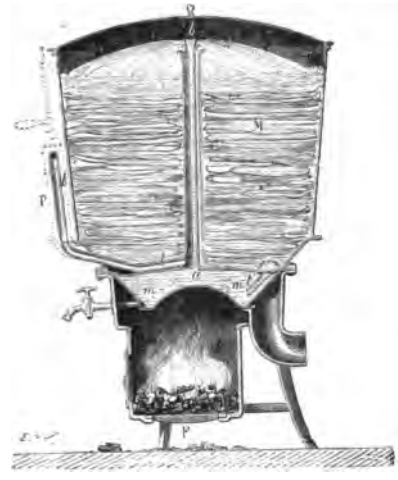


Fig. 558.

2110. Les buanderies économiques de la maison S. Charles sont tout à fait portatives et peuvent servir dans les ménages; elles se composent essentiellement d'une cuve en tôle galvanisée en forme de tronc de cône rétréci par le bas ; les petits appareils sont sans foyer et se posent sur un fourneau quelconque ; les appareils plus grands ont un foyer spécial placé au-dessous du cuvier. Un double fond à claire-voie, en bois, se place dans le cuvier à une petite distance du fond; ce double fond présente un trou central dans lequel on fait passer un ou plusieurs gros bâtons placés verticalement, et des entailles disposées à son pourtour dans l'intérieur desquelles on place des barrettes appliquées contre la paroi de la cuve. La cuve présente une douille à la partie inférieure pour la vidange et un tube de trop-plein au point que le niveau du liquide ne doit pas dépasser dans la cuve, et qui est inférieur à celui du double fond. On prépare une lessive en faisant dissoudre 4 kilogrammes et demi à 5 kilogrammes de cristaux de soude ou de savon mou dans 100 litres d'eau. Le linge le plus sale est directement plongé dans cette lessive qui marque environ 3° à l'aréomètre; le linge le moins sale est trempé dans une lessive moins forte obtenue en ramenant la lessive précédente, au moyen d'une addition d'eau pure, à ne plus marquer que 1° à 1° et demi; le linge bien imbibé est ensuite essoré.

On bouche la douille de vidange et on verse dans le cuvier de l'eau pure jusqu'au trou de niveau d'eau qu'on laisse ouvert pendant la mise du linge au cuvier. On jette alors au fond du cuvier le linge le plus sale après l'avoir détordu, et on finit d'emplir avec le linge le moins sale, en ayant soin de tasser partout également; quand le

cuvier est presque plein, on retire les bâtons et les barrettes et on achève de remplir de linge en tassant toujours et en bouchant avec du linge les trous laissés par les bâtons ; on ferme le couvercle du cuvier, on bouche le tube de niveau et on fait bouillir l'eau qui se trouve à la partie inférieure du cuvier jusqu'à ce que la vapeur sorte autour du couvercle par petites bouffées ; on laisse le feu s'éteindre et on laisse ensuite l'appareil fermé jusqu'au lendemain. On peut ensuite procéder au lavage. Dans l'appareil que nous venons de décrire se trouvent réalisées très-heureusement les conditions du coulage à la vapeur, sans emploi de pompe, et l'opération réduite alors à sa plus simple expression devient d'un emploi facile dans l'usage domestique.

2111. Les appareils mécaniques de lessivage ont tous pour objet d'agiter le linge au contact de la lessive. Ils peuvent être disposés d'un grand nombre de manières différentes. En Angleterre, un de ceux qui ont obtenu le plus de succès est la roue à laver (*dash-wheel*). Elle consiste en un grand tambour en bois, mobile autour de son axe et divisé en plusieurs compartiments fermés ; dans chacun d'eux on introduit la lessive et le linge renfermé dans des sacs de toile très-claire. Par le mouvement de la roue, le liquide entre et sort des sacs de manière à renouveler constamment celui qui est en contact avec le linge.

2112. A l'exposition universelle de 1855, se trouvait un appareil mécanique de lessivage présenté par M. Lejeune. Il se compose de six roues à laver, analogues aux dash-wheel : chaque roue plonge dans une auge renfermant, la première de l'eau pure, les autres des dissolutions de soude à des degrés croissants de concentration et à des températures de plus en plus élevées. Une machine à vapeur sans condensation fait tourner les roues, et la vapeur qui en sort est employée au chauffage des lessives ; au bout d'un certain temps, les roues sont relevées et reçoivent un mouvement de translation qui amène chacune d'elles au-dessus de l'auge suivante ; en abaissant les axes, les roues plongent de nouveau dans les auges et on reprend le mouvement de rotation. L'opération est terminée dans une roue quand elle est revenue au point de départ. Cet appareil, qui présentait des dispositions ingénieuses, ne s'est pas répandu.

2113. Il faut reconnaître que, malgré son importance, la question du blanchissage est réellement peu avancée ; car on ne connaît pas bien les phénomènes physiques qui se produisent dans le lessivage. Il paraît bien établi qu'il est avantageux d'élever progressivement la

température de la lessive ; mais le mouvement est-il nécessaire ou seulement la durée de l'action ? Les résultats obtenus dans le blanchissage par la vapeur, après une macération plus ou moins longue dans la lessive à froid, seraient favorables à cette dernière opinion. Il serait à désirer que cette question fût approfondie ; il pourrait en résulter des améliorations importantes.

2114. Dans les conditions actuelles de la blanchisserie on a recours dans les grands ateliers à des procédés divers suivant la nature du linge que l'on veut blanchir ; dans le cas du gros linge : draps, serviettes, etc., on procède d'abord au coulage par un des procédés que nous avons indiqués ; puis le linge sorti du cuvier est introduit dans des tonneaux à laver de grande dimension dans lesquels coule d'une façon continue une certaine quantité de lessive chaude. Une pente légère de l'axe des tonneaux assure l'écoulement régulier de la lessive ; des broches disposées convenablement à l'intérieur des tonneaux déterminent le mouvement du linge d'un bout à l'autre du tonneau en même temps qu'elles l'empêchent de s'attacher aux parois ; le linge sort du tonneau en glissant sur une grille. Dans le cas du linge de corps ou linge fin, on lessive le linge en une seule opération qui consiste à l'introduire dans une roue de dimensions plus faibles que les précédentes ; cette roue est divisée en quatre compartiments par des cloisons diamétrales ; chacun de ces compartiments présente une porte pour l'introduction du linge qui est soumis dans ce cas au mouvement en même temps qu'à la première action de la lessive chaude ; après sa sortie de cette roue, dite Américaine, ce linge est soumis à un savonnage partiel à la main qui a pour but d'enlever les taches ou les maculatures qui ont pu résister à la première action.

CHAPITRE VII

Appareils d'économie domestique.

2115. Nous nous occuperons d'abord des grands appareils, de ceux qui sont destinés à préparer les aliments d'une grande réunion d'hommes, parce que l'économie du combustible devient alors importante ; j'indiquerai ensuite les petits appareils les plus remarquables.

Fourneaux de cuisine.

2116. *Préparation du bouillon de viande.* — Dans les grands

établissements, on a longtemps préparé le bouillon dans de vastes chaudières, et, pour économiser le combustible, on en a placé plusieurs, à la suite les unes des autres, chauffées successivement par le courant d'air brûlé sortant du foyer ; mais, dans les premières, l'ébullition était trop vive, et dans les dernières la température n'était pas assez élevée. On a imaginé ensuite de préparer le bouillon au bain marie d'eau mêlée de sels pour que la température pût dépasser 100°, et enfin par le chauffage à vapeur. Mais cette question n'a été bien étudiée que depuis l'organisation à Paris d'une compagnie ayant pour objet la préparation en grand du bouillon destiné à être vendu en détail dans un certain nombre de boutiques spéciales disséminées dans tous les quartiers de Paris. La compagnie Hollandaise, fondée en 1829, et qui fabriquait, il y a un certain nombre d'années, tant pour vendre au détail que pour plusieurs établissements publics, plus de 3,000 litres de bouillon par jour, a employé successivement divers appareils. Nous décrirons sommairement les diverses phases de sa fabrication.

211. Les conditions à remplir dans la préparation du bouillon sont : 1° d'élever assez rapidement le liquide à une vive ébullition ; 2° de le maintenir ensuite pendant cinq à six heures, à la température de l'ébullition, mais sans lui faire plus de chaleur qu'il ne s'en perd par le refroidissement de la surface du vase exposée à l'air, de manière qu'il ne se forme que peu ou point de vapeurs ; 3° d'opérer dans des vases dont le volume ne dépasse pas 5 à 6 litres. La [illegible] pour conserver la [illegible] du sang, [illegible] la chaleur est [illegible] presque [illegible] [illegible] [illegible]

qualité du bouillon ; on pourrait se rendre compte de l'influence de la profondeur du vase, par l'accroissement de température qui en résulte pour le commencement de l'ébullition, mais on ne voit rien qui puisse bien expliquer l'influence des dimensions latérales.

Cependant, il n'est pas rare de trouver dans les hôpitaux, etc., des marmites à bouillon dont la capacité dépasse 200 litres, et on trouve dans une brochure de M. Tawangne, colonel belge, l'indication d'une chaudière à foyer central de 1400 litres de capacité servant à préparer les aliments du régiment de grenadiers belge.

2118. A l'origine, la compagnie Hollandaise préparait le bouillon dans 40 caléfacteurs de Lemare, contenant chacun 40 litres de bouillon, et dans des marmites de terre de 20 litres, placées chacune dans un fourneau particulier ; tous ces appareils marchaient au charbon de bois. Mais la dépense qu'occasionnait l'emploi d'un combustible aussi cher, et surtout la surveillance qu'exigeaient des foyers si nombreux, engagèrent les gérants à chercher un autre mode d'opération. M. Darcet, consulté, conseilla l'emploi d'un bain-marie d'eau salée, et M. Grouvelle, ingénieur civil, fut chargé de l'exécution.

2119. L'appareil de M. Grouvelle consistait en une chaudière rectangulaire en tôle de 9 mètres de longueur, $1^m,33$ de largeur et $0^m,60$ de profondeur, placée dans un fourneau en briques; le foyer était à une extrémité, et l'air brûlé parcourait d'abord le fond et ensuite les parois de la chaudière ; à la partie la plus éloignée du foyer, se trouvait une capacité séparée du reste de la chaudière et destinée à chauffer l'eau pour le lavage. La surface supérieure était percée de 12 orifices de $0^m,50$ de diamètre destinés à recevoir des marmites de $0^m,60$ de hauteur, qui ne descendaient pas jusqu'au fond de la chaudière et qui étaient soutenues par une saillie qui s'appuyait sur les bords des orifices. Un registre convenablement placé servait à volonté à faire passer l'air brûlé dans le canal qui entourait la chaudière ou directement dans la cheminée quand la température du bain était trop élevée. Toutes les marmites étaient en fer-blanc. Des tringles en fer rond, fixées horizontalement à une certaine hauteur, et sur chacune desquelles pouvait courir une poulie supportant une moufle. servaient à enlever les marmites. Le bain-marie renfermait 250 kilogrammes de chlorure de potassium provenant du raffinage du salpêtre, et remplissait la chaudière aux trois quarts. Un tube était destiné à conduire hors de l'atelier les vapeurs qui se produisaient dans le bain-marie, lorsqu'on chauffait trop vivement.

L'appareil de M. Grouvelle a bien fonctionné, et a présenté une

grande économie de combustible. Par l'ancienne fabrication, avec des appareils ayant chacun leur foyer, la dépense en charbon de bois était de 18 à 20 fr. pour 600 à 700 litres de bouillon ; tandis que par le nouvel appareil, 120 kilogrammes de houille, qui coûtent de 5 à 6 fr., suffisaient pour fabriquer 1200 litres de bouillon.

Ce résultat était très-avantageux comparé à celui des anciens appareils ; mais il laissait encore beaucoup à désirer. En effet, la surface totale de tôle maintenue à 100° et exposée à l'air libre, produirait par heure une condensation de $11^k,4$ de vapeur, et pendant 10 heures de chauffage 114 kilogrammes, qui correspondent à 20 kilogrammes de houille ; en outre, le chauffage journalier à 100° des 1200 litres de bouillon équivaut à 120000 unités de chaleur et à 120000 : 6000 = 20 kilogrammes de charbon. Ces deux effets réunis représentent 40 kilogrammes de houille. Ainsi, il y avait 120 — 40 = 80 kilogrammes de houille employés à réchauffer le bain-marie et à former de la vapeur. Cet appareil avait en outre l'inconvénient de chauffer inégalement les deux extrémités de la chaudière, et de ne porter à l'ébullition les marmites les plus éloignées du foyer, que lorsqu'on forçait le feu ; mais alors les marmites voisines du foyer bouillaient trop fortement, et on perdait beaucoup de chaleur. Enfin la disposition des tuyaux qui enveloppaient les marmites et plongeaient dans le liquide du bain-marie, ne permettait pas de maintenir une certaine pression dans la chaudière, parce que le liquide du bain serait sorti par les intervalles de ces cylindres et des marmites.

2120. M. Rudler, ingénieur de la manufacture des tabacs de Paris, a modifié cet appareil de manière à éviter les inconvénients que

Fig. 559.

nous venons de signaler, et à mieux utiliser le combustible. Les principales modifications ont consisté à établir deux foyers sous la chaudière, à disposer les carneaux de manière à chauffer uniformé-

ment les marmites, à fixer les chaudières dans le bain-marie, de manière à pouvoir y établir une petite pression sans que pourtant la vapeur sortît dans l'atelier, et enfin à utiliser la vapeur qui se dégage de la dissolution saline. Cette nouvelle disposition est représentée dans les figures 559, 560, 561 : la première est une coupe longitudinale de l'appareil, la seconde une coupe transversale, et la

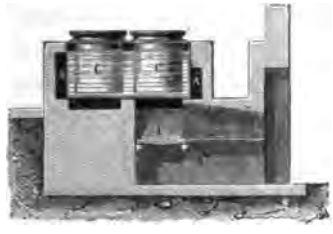


Fig. 560.

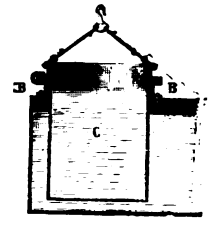


Fig. 561.

dernière une coupe d'une marmite sur une plus grande échelle. AA, chaudière de forme rectangulaire, en tôle, dont l'épaisseur au fond est de 0^{m},004, et sur toutes les autres parties de 0^{m},003 seulement ; de fortes armatures verticales, en fer forgé, et placées dans l'intérieur, s'opposent à la déformation des deux faces horizontales. La chaudière est divisée en trois parties ; celle du milieu X sert à chauffer l'eau pour les lavages ; les deux autres parties renferment de l'eau salée et sont destinées à recevoir les marmites. Le chauffage s'effectue par deux foyers I, I ; les gaz brûlés, après avoir parcouru la moitié du fond de la grande chaudière, peuvent gagner directement la cheminée ou faire le tour de l'autre moitié, en chauffant les parois latérales. Les dessus de ces deux parties extrêmes de la chaudière sont percés, chacun de 10 trous circulaires, dans lesquels on place les marmites. B, B (*fig.* 561), pièces de fonte dont les bords sont boulonnés ou rivés sur les bords des orifices de la chaudière. C,C,C, marmites en fer étamé, auxquelles sont soudés à l'étain des cercles en fer forgé, pour les soutenir sur les pièces B,B, auxquelles elles sont fixées par des pinces en fer ; entre les surfaces en contact on place un anneau en feutre ou en tresse de chanvre, afin de rendre le joint étanche et d'empêcher la vapeur du bain-marie de se dégager dans l'atelier. D,D, soupapes destinées à faire écouler ou à retenir la vapeur qui se forme dans les deux chaudières partielles. E, soupape placée dans un tuyau communiquant avec les chapelles des deux premières ; elle est disposée de manière à intro-

duire à volonté, dans l'une des chaudières ou dans toutes les deux, l'eau provenant de la vapeur condensée dans un serpentin placé dans un réservoir supérieur. Ce dernier étant plein d'eau froide, la vapeur qui s'échappe du bain-marie par la soupape E, arrive par le tuyau F dans le serpentin et s'y condense en grande partie. La vapeur condensée tombe dans un autre réservoir au-dessous du premier ; sur le côté de celui-ci est placé un niveau d'eau à tube de verre qui indique à quel moment il faut ouvrir le robinet placé au-dessus de la soupape E pour laisser rentrer l'eau dans la chaudière. Quand on s'aperçoit que l'eau du réservoir dans lequel circule le serpentin est tellement chaude qu'elle ne condense plus la vapeur formée dans la chaudière, on la remplace par de l'eau froide ; l'eau qui sort du réservoir sert à alimenter la chaudière intermédiaire X.

Voici de quelle manière on se servait de cet appareil. On introduisait 500 kilogrammes de chlorure de potassium dans chacune des deux chaudières destinées à recevoir les marmites, et la quantité d'eau nécessaire pour que le niveau, quand les marmites étaient en place, s'élevât à $0^m,08$ du couvercle. On remplissait la petite chaudière X de manière que l'eau y fût à peu près au même niveau. Alors on allumait le feu, on fermait les registres, afin que la fumée suivît le plus court trajet pour se rendre dans la cheminée, et produisît un bon tirage. Quand l'eau salée était arrivée à l'ébullition, on plaçait les marmites pleines, et on laissait les registres fermés jusqu'à ce que l'ébullition fût bien établie ; on ouvrait alors les registres et on couvrait le feu ; un léger frémissement se maintenait dans les marmites pendant le temps nécessaire à la cuisson de la viande. Au moyen de cet appareil on obtenait 2,000 litres de bouillon en brûlant moins de 100 kilogrammes de houille.

Ce mode de chauffage, employé à la maison de force de Gand, présentait pourtant encore quelques inconvénients ; les vases s'altéraient assez promptement, et il s'échappait souvent de la vapeur par les joints des rebords des vases et des douilles sur lesquelles ils reposent. Ces considérations engagèrent l'administration à effectuer le chauffage par la vapeur à haute pression.

2121. Ce nouvel appareil a encore été construit par M. Rudler, et il est représenté dans les figures 562 et 563. La première est une coupe longitudinale ; la seconde, une coupe transversale passant par le centre de deux chaudières jumelles. A, générateur, dont la vapeur s'écoule par le tuyau BCDD ; E, E,... marmites en cuivre, éta-

mées intérieurement, au nombre de vingt, formant 2 groupes chacun de 10 ; elles sont garnies d'un double fond, dans lequel la vapeur pénètre par le tuyau F, et dont l'eau provenant de la vapeur condensée s'écoule par un tube dans la bâche H. Des robinets servent à régler l'admission de la vapeur et l'écoulement de l'eau. Chaque groupe de chaudières est renfermé dans une caisse L, fermée latéralement par des plaques de fonte. M est un vase qui sert à alimenter

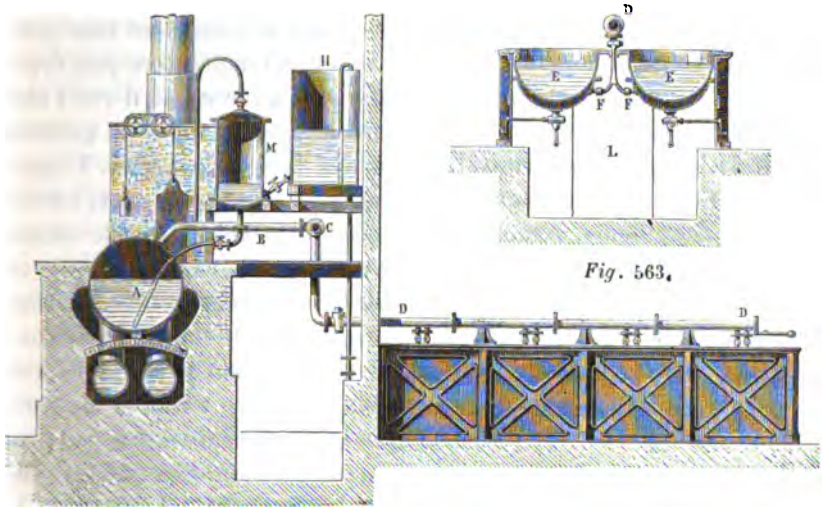


Fig. 563.

Fig. 562.

les chaudières par intermittence. Depuis, l'appareil d'alimentation a été remplacé par une pompe mue par une petite machine à vapeur. La vapeur est constamment maintenue dans la chaudière à $2^{atm}\frac{1}{2}$.

Cet appareil est d'un usage très-commode, car il permet de régler, à volonté et immédiatement, l'activité de l'ébullition dans les chaudières ; mais il consomme un peu plus de combustible que le bain-marie, et il est d'un prix beaucoup plus élevé.

2122. J'ai recueilli sur ces différentes méthodes de fabrication quelques renseignements que je crois utile de rapporter. Par le chauffage à vapeur on écume en 15′, par le chauffage à feu nu dans un temps plus long, par l'emploi du bain-marie dans un temps plus long encore. Les vases de fer-blanc s'altèrent promptement, parce que le bouillon est toujours acide ; les vases de cuivre étamés sont bien préférables à ceux de fer-blanc, mais pourtant l'étamage doit

être renouvelé assez fréquemment ; on donne maintenant la préférence aux vases de fonte. Les dépenses de combustible par le chauffage au bain-marie, à la vapeur et à feu nu, sont dans le rapport des nombres 8, 10 et 11.

2123. En 1681, Papin imagina d'extraire la gélatine des os en les traitant par l'eau à une température élevée, au moyen de l'appareil connu sous le nom de *marmite de Papin;* la dissolution de gélatine ainsi obtenue est toujours trouble, et il se forme un peu d'ammoniaque. En 1812 M. Darcet reconnut que les os cèdent lentement leur gélatine à l'eau à la température de 40° ou à une température peu supérieure sans que la matière organique soit altérée, et il eut l'idée d'employer cette méthode pour obtenir des dissolutions de gélatine qu'il destinait à la nourriture des malades dans les hôpitaux. L'appareil de M. Darcet consistait en 4 cylindres de fonte, verticaux, fermés par les deux bouts, renfermant chacun un cylindre en toile métallique contenant les os; un tuyau y amenait de la vapeur à 106°; un petit jet d'eau la condensait en partie et l'eau chargée de gélatine s'écoulait par la partie inférieure du cylindre ; on employait 4 cylindres afin d'obtenir un effet continu, attendu qu'il faut quatre jours pour extraire par la vapeur à basse pression presque toute la gélatine renfermée dans les os. Par ce moyen les os fournissent à peu près 0,28 de gélatine. Avec 60 kilogrammes d'os, on obtenait 900 litres de dissolution en vingt-quatre heures, en brûlant 144 kilogrammes de houille. Les dissolutions de gélatine obtenues par ce procédé ont une saveur fade, souvent repoussante, et sont fort peu nutritives, ainsi qu'une commission de l'Académie des sciences l'a constaté; aussi tous les appareils qui avaient été établis ont-ils été abandonnés.

2124. *Fourneaux de cuisines des grands établissements.* — Dans les grands établissements d'instruction publique, les hospices, les prisons, la préparation des aliments se fait à l'aide d'un seul foyer dont l'air brûlé passe successivement ou simultanément au-dessous de différentes chaudières, et circule en dernier lieu, avant d'entrer dans la cheminée, autour d'une chaudière renfermant de l'eau destinée au lavage. Au-dessus du foyer se trouve une série de barreaux de fer, sur lesquels on place les vases qui doivent être chauffés à une température élevée; les intervalles des barreaux ne laissent point dégager de fumée, ils donnent au contraire accès à l'air extérieur appelé par la cheminée. Quelquefois ces barres de fer sont remplacées par des plaques de fonte qu'on peut enlever et qui permettent d'ouvrir au-dessus du foyer un orifice de diamètre variable pour y

placer des marmites de différentes dimensions. Souvent il y a à la partie inférieure du fourneau des caisses de fonte ou de tôle, dont la surface peut être échauffée par le courant d'air brûlé, et qui servent de fours pour différents usages ; les portes de ces fours sont garnies de petits orifices, ainsi que la surface supérieure, afin d'y produire une certaine ventilation. Ces grands fourneaux sont construits en briques et garnis d'armatures. Ils sont ordinairement isolés au milieu de la cuisine afin que l'on puisse circuler autour, et l'air brûlé descend au-dessous du sol pour gagner la cheminée. Ils sont quelquefois doubles, afin que le service ne puisse pas être interrompu par le nettoyage des canaux à fumée ou par une réparation. Souvent, pour la commodité du service, l'eau froide arrive d'un réservoir supérieur par des tuyaux qui circulent au-dessus du fourneau et qui sont terminés par des robinets qu'on peut amener facilement au-dessus des chaudières pour les remplir. Ces appareils varient beaucoup de forme et de dimension, suivant les besoins du service auquel ils sont destinés.

2125. La figure 564 représente une coupe horizontale d'un grand fourneau de cuisine d'une maison de santé. Au delà du foyer A, se trouvent quatre marmites B,C,D,E, destinées à la cuisson des aliments, et une chaudière à eau chaude F. L'air brûlé peut, au moyen des registre *a,a',b,b',c,c'*, passer sous les marmites que l'on veut, et les porter à une température plus ou moins élevée. Les fonds seuls des marmites sont chauffés ; mais il serait facile de disposer l'appareil de manière que la fumée fît aussi le tour des parois latérales.

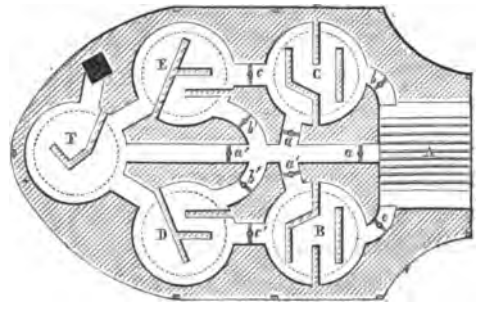


Fig. 564.

2126. On pourrait employer pour le service des cuisines la disposition indiquée dans les figures 565 et 566 : le foyer chauffe directement une plaque de fonte épaisse, au-dessous de laquelle circule ensuite l'air brûlé dans des carneaux rectangulaires. A l'extrémité du circuit se trouve la chaudière à eau chaude. Par cette disposition les marmites pourraient être placées sur la partie la plus convenable de la plaque de fonte; mais il y aurait toujours une perte de cha-

leur assez notable par les surfaces de la plaque qui ne seraient pas couvertes. On pourrait éviter cette perte en faisant passer la fumée

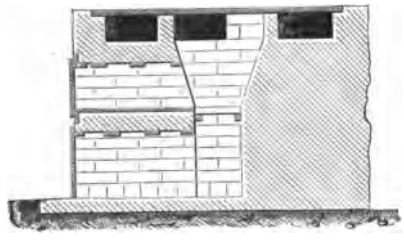


Fig. 565.

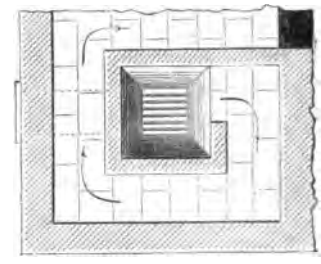


Fig 566.

successivement sous des plaques de fonte circulaires, le canal étant couvert de briques dans les intervalles.

2127. L'exposition universelle de 1855 renfermait une multitude de fourneaux de cuisine, en fonte et de dimensions très-variables; mais les dispositions intérieures étaient les mêmes que celles que nous avons indiquées pour les fourneaux en briques. Dans beaucoup d'entre elles, le foyer s'ouvrait à la partie supérieure, et la plaque de fonte qui le recouvrait était formée de parties annulaires, ce qui permettait d'y placer des vases de différentes grandeurs. L'air brûlé circulait au-dessous de la plaque qui formait la partie supérieure du fourneau, autour des chaudières et des étuves. En examinant avec soin tous ces appareils et les dessins qui ont été remis au jury, je n'ai remarqué que deux améliorations qui puissent être signalées et qui se retrouvent à peu près dans tous. A une des extrémités du fourneau est placé un foyer à grille verticale qu'on allume pour faire les rôtis; la rôtissoire se pose sur une plaque horizontale qu'on relève pour fermer le foyer. En outre une partie de la plaque supérieure du fourneau renferme un petit foyer additionnel destiné à la cuisson des viandes qui doivent être grillées, et au-dessus une petite caisse en fonte communiquant avec la cheminée, et qui est ouverte en avant pour permettre le service du foyer; par cette disposition il se produit autour des viandes une ventilation active qui entraîne les gaz et les vapeurs qui se produisent. Les fourneaux en fonte sont très-commodes, parce qu'ils s'achètent tout faits, et que leur mise en place est des plus simples. Ils sont réellement avantageux quand ils n'ont que de petites dimensions, qu'ils sont employés, en même temps, comme appareils de chauffage, et qu'ils ne servent que l'hiver. Mais quand ils ont de

grandes dimensions, et que les surfaces de fonte ne sont pas recouvertes d'une forte épaisseur de brique, ce qui a lieu ordinairement, il y a une certaine quantité de chaleur perdue par la haute température que prennent les parois ; la surface supérieure, qui est presque toujours formée d'une seule plaque de fonte, casse souvent, par suite de l'inégalité de dilatation de ses différentes parties ; et ce qu'il y a de plus fâcheux, les gens de service se trouvent constamment soumis à une température très-élevée, qui altère leur santé, surtout quand les cuisines sont mal ventilées, ce qui a lieu le plus souvent. J'ai eu plusieurs fois l'occasion de reconnaître, dans les cuisines des lycées de France, les inconvénients que je viens de signaler.

2128. *Fourneaux des casernes.* — Dans les anciens fourneaux, un seul foyer servait à chauffer deux marmites circulaires. La flamme frappait d'abord une plaque de fonte horizontale et l'air brûlé se divisait en deux courants, qui, après avoir chauffé chacun une marmite, se réunissaient ensuite pour circuler autour d'une chaudière à eau chaude. Par cette disposition, les marmites ne s'échauffaient pas également, et la plaque de fonte placée au-dessus du foyer se détériorait promptement. Ces inconvénients avaient fait donner la préférence aux fourneaux ne renfermant qu'une seule marmite d'une capacité double. En 1832, M. Choumara a introduit dans la forme des marmites et dans la construction du fourneau, des modifications ingénieuses qui ont produit une grande économie de combustible. Les chaudières sont au nombre de deux ou de quatre. Dans le premier cas, elles ont chacune pour section horizontale un demi-cercle, et elles sont réunies par leurs faces planes, mais de manière qu'il y ait entre elles une distance de $0^m,05$. Quand les chaudières sont au nombre de quatre, chacune a pour section un secteur égal à un quart de cercle, et elles sont groupées autour d'une ligne verticale, de manière que la section commune soit un cercle et que les faces planes des chaudières soient écartées les unes des autres à peu près de $0^m,05$. Dans tous les cas, les chaudières se placent sur des croisillons en fer fixés dans le fourneau ; le foyer est au-dessous, et l'air brûlé circule autour du système avant de se rendre sous la chaudière à eau chaude et de là dans la cheminée.

Les marmites ont $0^m,40$ de hauteur et une capacité de 72 litres, afin que, sans être complétement remplies, elles puissent servir à la préparation de 64 kilogrammes de soupe (viande et légumes compris), ration d'une compagnie de 64 hommes. Les fonds des chau-

dières sont chauffés par le foyer, et les faces latérales libres par le courant d'air brûlé.

Voici les résultats des expériences faites en 1829. A la caserne du Mont-Blanc, à Paris, dans un fourneau à deux chaudières on a consommé moyennement $5^k,08$ de bois par marmite, fournissant 64 kilogrammes de soupe. A la caserne de l'Ave-Maria, pour la même quantité de soupe, la consommation a été seulement de $4^k,85$ de bois, ou de $2^k,67$ de houille. Avec les anciens appareils la consommation de houille s'élevait à 5 kilogrammes. Dans les fourneaux à quatre chaudières, établis à la caserne de l'Ave-Maria, la consommation de bois a été de $3^k,832$, et celle de houille de $2^k,208$.

Dans des expériences qui avaient pour objet de déterminer la quantité de chaleur utilisée, on a introduit dans les quatre chaudières d'un fourneau 224 litres d'eau à 14°; on les a vidées aussitôt que l'ébullition s'est manifestée : alors on a introduit le même volume d'eau froide qui a été chauffée à 38°, par la braise qui restait dans le foyer et par la chaleur de la maçonnerie. La quantité de chaleur absorbée par l'eau a été de $224 \times (100 - 14) + 224 (38 - 14) = 24640$. On avait consommé 10 kilogrammes de bois, et par conséquent on avait produit dans le foyer $3000 \times 10 = 30000$ unités de chaleur; ainsi l'effet utile a été de $24640 : 30000 = 0,82$.

Dans une autre expérience, faite en employant 7 kilogrammes de houille et 3 kilogrammes de bois, on a chauffé à l'ébullition 224 kilogrammes d'eau, et le même volume d'eau de 11° à 65°. L'effet utile a été de $224 (100 - 11) + 224 (65 - 11) = 32032$. Et comme la quantité de chaleur produite était $7 \times 8000 + 3 \times 3000 = 65000$, il s'ensuit que l'effet utile a été seulement de 0,49. La houille employée était probablement de mauvaise qualité ou elle a été mal brûlée, car ce résultat est bien inférieur au premier.

En prenant d'autres nombres pour la puissance calorifique du bois et de la houille, le capitaine Choumara conclut que ses appareils à quatre marmites utilisent les deux tiers de la chaleur produite quand on emploie de la houille, et les trois quarts quand on brûle du bois; que dans les appareils à deux marmites, pour le bois et pour la houille, l'effet utile est seulement 0,6; et que l'économie annuelle qui résulterait de l'emploi de ses appareils dans toutes les casernes de France, s'élèverait à plus de 50000 francs.

La disposition des fourneaux de M. Choumara à deux chaudières en demi-cercle a seule subsisté, la disposition à quatre chaudières a

été rejetée par le comité du génie, tandis que la première est adoptée d'une façon à peu près générale.

2129. *Emploi de la vapeur pour la cuisson des aliments.* — Nous avons parlé (2121) de l'application de la vapeur faite à la préparation du bouillon par M. Rudler, à la maison de force de Gand. Depuis l'époque déjà ancienne où cette application a été faite, des modifications nombreuses ont été apportées à l'appareil, et M. Egrot construit actuellement des cuisines à vapeur qui permettent la préparation de toute espèce d'aliments.

Les marmites employées par M. Egrot sont en fonte non étamée, l'expérience a prouvé qu'au bout d'un certain temps de service la fonte se trouve garantie contre toute altération qui pourrait se produire dans la préparation des aliments; à cet égard on a constaté que des chaudières en fonte du poids de 200 kilogrammes environ, après sept à huit ans de service, n'avaient pas perdu plus de 1 kilogramme, tandis que les chaudières en cuivre dans les mêmes conditions auraient perdu considérablement; d'ailleurs, dans la pratique, on est presque toujours conduit à se servir de chaudières en cuivre non étamé à cause de la dépense relativement considérable qu'entraîne l'étamage, parce qu'il faut démonter et remonter la chaudière pour l'étamer, et l'on conçoit quels inconvénients graves peuvent résulter de l'emploi direct du cuivre à la cuisson des aliments.

Les marmites sont à fond plat; cette disposition est avantageuse en ce que l'eau de condensation peut se répartir alors sur une large surface, tandis qu'avec les marmites hémisphériques, elle ne peut occuper vers le fond qu'une surface très-restreinte et touche bientôt le fond de la marmite proprement dite; on a alors un chauffage au bain-marie au lieu d'un chauffage à vapeur; il faut de plus observer que l'eau de condensation se refroidit et que la température de cuisson devient moindre; enfin lorsqu'il s'agit de rôtir les viandes, il faut absolument que le fond soit plat afin que la graisse soit répandue également sur ce fond de telle façon que la viande soit en contact avec cette graisse par tous les points où elle touche la marmite.

Dans les marmites à rôtir qui sont plates, le double fond ne dépasse guère le fond de la marmite; dans les marmites demi-profondes qui servent pour les ragoûts et les marmites profondes dans lesquelles on fait cuire le bouillon, le double fond s'élève jusque vers la moitié de la hauteur de la marmite. Dans tous les cas le double fond ne fait pas corps avec la chaudière, il y est réuni au moyen de brides boulonnées; afin d'assurer la résistance du fond plat des mar-

mites, on le garnit de nervures parallèles. Le double fond porte deux tourillons creux autour desquels la marmite peut tourner sur deux supports autour d'un axe horizontal ; le canal de l'un de ces tourillons se prolonge par un tube percé de trous qui longe le fond de la marmite, et qui amène la vapeur, l'autre tourillon reçoit un tube qui arrive à la partie inférieure du double fond et qui sert au retour de l'eau ; celle-ci est conduite dans un réservoir où elle sera reprise pour l'alimentation de la chaudière.

Les marmites sont équilibrées, on leur laisse cependant une certaine stabilité autour de leur axe. Elles sont munies d'une oreille latérale dans laquelle on peut introduire un levier qui sert à les faire basculer. Une disposition particulière de crans d'arrêts placés latéralement permet de maintenir la chaudière à différents degrés d'inclinaison soit pour le vidage, soit pour le nettoyage. De plus la marmite porte à l'avant un rebord saillant qui se termine en biseau, afin que, dans le vidage, les liquides ne puissent couler le long de la marmite.

Enfin pour éviter le refroidissement, on a entouré les marmites d'une enveloppe en tôle emprisonnant un matelas d'air.

Les couvercles des chaudières peuvent se soulever en tournant autour d'une charnière placée à l'arrière de la marmite ; une chaîne dont une extrémité est attachée au centre du couvercle passe sur une poulie placée à une certaine hauteur et supporte à l'autre extrémité un contre-poids qui permet le soulèvement facile du couvercle et le maintient ensuite soulevé.

Les chaudières sont rangées par batterie de quatre dont une à rôtir; dans une grande installation on peut juxtaposer deux batteries ; l'eau est alors fournie aux chaudières au moyen d'un tuyau vertical muni d'un col de cygne, un seul tuyau peut ainsi desservir quatre marmites. On dispose les tubes de retour d'eau et d'arrivée de vapeur de façon inverse dans les chaudières successives d'une même batterie ; de telle manière que, s'il y a un tube de retour au support placé entre deux chaudières et recevant les eaux du double fond de chacune d'elles, au support suivant il y aura un tube unique d'arrivée de vapeur, la distribuant à droite et à gauche dans les deux marmites.

Les marmites sont essayées à la presse hydraulique sous une pression de 12 atmosphères ; la vapeur en marche normale y est introduite à 4 atmosphères. L'introduction de la vapeur et la purge doivent varier suivant la nature de la cuisson que l'on veut faire.

Dans le cas où un certain nombre de services exigeraient l'emploi

de la vapeur, il est toujours utile de n'avoir qu'un seul générateur auquel on empruntera la vapeur nécessaire à la cuisson ; dans le cas contraire M. Egrot emploie de préférence une chaudière verticale à bouilleurs croisés horizontaux ; cette disposition a l'avantage d'obtenir une mise en train rapide, parce que la chaudière entre très-vite en pression. L'inconvénient qui résulte de ce que la fumée sort de l'appareil à une température trop élevée peut être atténué, soit en utilisant la chaleur perdue à chauffer un réservoir d'eau qui fournit aux besoins divers et en particulier au lavage de la vaisselle, soit, comme on l'a fait dans les établissements des Frères à Issy et dans la rue de Vaugirard à Paris, en se servant de cette chaleur perdue pour chauffer plusieurs compartiments en tôle dont le premier sert de four à rôtir les viandes et dont les autres sont utilisés à maintenir les mets chauds.

Les frais d'entretien sont faibles ; la conservation des marmites paraît, comme nous l'avons dit, à peu près indéfinie. Les aliments ne peuvent être brûlés ni sentir la fumée ; l'ébullition est obtenue très-rapidement dans les marmites ; dans une capacité de 300 litres, on porte l'eau à l'ébullition en une demi-heure.

2130. Dans un travail très-important fait par M. Corbin, capitaine du génie, sur ces appareils, cet officier compare la consommation de combustible faite dans les cuisines à vapeur de différents établissements avec la consommation faite dans les fourneaux de cuisine déduite des allocations de chauffage faite à la troupe dans les casernes et en ramenant la consommation alimentaire de ces établissements à un nombre équivalent de soldats ; voici les résulats qu'il obtient :

Établissements.	Consommation journalière de la cuisine à vapeur.	Allocation journalière de chauffage aux hommes.
Dames de Sion (équivalent, 540 hommes)....	80k	125k
Frères de la rue Oudinot (1100 hommes).....	110	250
Saint-Nicolas d'Issy (1650 hommes).....	143	399
Saint-Nicolas de Vaugirard (2200 hommes)..	200	532

On voit d'après cela que l'économie augmente très-sensiblement avec le nombre des hommes qu'il s'agit de nourrir. D'un autre côté, les cuisines à vapeur coûtent très-notablement plus cher d'installation que les fourneaux ; nous empruntons encore à M. Corbin les chiffres suivants qui fournissent les frais d'installation comparés.

	Cuisine à vapeur.	Cuisines actuelles.
672 hommes d'infanterie...	10000 fr.	2410 fr.
1365 — ...	16000	4750
2338 — ...	26500	7600
2964 — ...	33000	12860

M. Corbin trouve que l'excès de dépense serait amorti au moyen de l'économie réalisée sur le combustible dans un temps qui serait respectivement pour chacun des cas considérés de 9 ans, 3 ans 4 mois, 3 ans, 2 ans 4 mois; d'après cela, on peut conclure que l'emploi des cuisines à vapeur ne devient réellement avantageux que lorsque le nombre des hommes à nourrir atteint ou dépasse 1000.

2131. Pour obtenir une préparation plus rapide du bouillon, M. Egrot propose de fixer le couvercle de la marmite au moyen de boulons mobiles de façon à avoir à l'intérieur une pression un peu plus élevée que celle de l'atmosphère et à augmenter de quelques degrés la température du bouillon ; une petite soupape de sûreté à ressort occupe alors le centre du couvercle ; par ce moyen on arrive à préparer le bouillon et à cuire la viande en deux heures. Cette modification ne paraît pas s'être généralisée.

2132. On a proposé aussi de déterminer la cuisson des aliments en faisant directement arriver la vapeur dans le récipient qui les contient ; ce procédé a l'inconvénient d'introduire dans les aliments l'eau de condensation de sorte qu'il transforme les ragoûts en soupe ; d'ailleurs cette eau peut contenir des matières étrangères provenant du générateur et donnant mauvais goût à la soupe. Cependant M. Egrot avait utilisé la vapeur de cette façon, pour cuire à l'eau les légumes, ou les pommes de terre à l'étuvée ; il y a renoncé, la marmite à double fond donnant une cuisson tout aussi rapide.

2133. M. Fraise-Peters présenta au mois de septembre 1870 à la Commission scientifique établie pendant le siége de Paris à la mairie du 3e arrondissement, une cuisine roulante à vapeur ; cette cuisine fut présentée au ministre de la guerre au commencement de 1871. Cette cuisine était formée d'un camion à roues très-basses portant une chaudière à vapeur du système Field, une bâche à eau froide et les différents appareils de cuisson nécessaires à l'alimentation de 1500 hommes. Cette cuisine employée à poste fixe pour l'alimentation de 1200 hommes a produit une économie de 36 pour 100 sur l'allocation de combustible basée sur l'emploi des fourneaux Choumara. M. Corbin, chargé de faire un rapport sur l'emploi de cette cuisine

roulante, conclut au rejet en se fondant sur ce que ce système, employé à poste fixe, était de beaucoup inférieur à celui de M. Egrot comme emploi, et qu'il coûtait davantage.

M. Fraise-Peters réduisit ensuite son appareil à des dimensions moindres et l'appela *fourgon-cuisine de bataillon ;* il est destiné au service de 600 hommes ; la voiture est alors très-mobile et peut passer partout où passe une voiture d'artillerie de campagne ; elle doit être attelée de quatre chevaux. M. Corbin établit que ce fourgon-cuisine ne peut servir ni à poste fixe parce qu'alors il ne serait pas économique, ni en campagne parce qu'il accroîtrait d'un kilomètre environ la longueur d'un corps d'armée, et que d'autre part un éclat d'obus suffirait à enlever à un bataillon entier ses moyens de subsistance ; ce qui forcerait à conserver le matériel de cuisine individuelle pour parer à ces éventualités ; mais si l'on apportait à l'appareil des modifications de détail qu'il indique, M. Corbin croit qu'on pourrait l'employer utilement dans les marches à l'intérieur, dans les campements ou dans les cantonnements autour d'une place assiégée et principalement dans les ambulances à la suite de l'armée.

Je vais maintenant donner quelques détails sur plusieurs petits appareils destinés à préparer les aliments ; au point de vue industriel, ils ne sont pas actuellement d'une grande importance, mais ils présentent de l'intérêt, soit par leurs dispositions ingénieuses, soit par les résultats économiques qu'ils ont produits : ils peuvent d'ailleurs conduire à des applications plus vastes dans d'autres industries.

2134. *Fourneau potager d'Harel.* — La figure 567 est une coupe verticale de la marmite ; la figure 568, une coupe du fourneau en supposant qu'on ait enlevé cette dernière ; CC, espace dans lequel circule la fumée avant de se rendre dans la cheminée D ; E, marmite en poterie, recouverte extérieurement et à la partie inférieure d'une feuille de tôle ; F, casserole de fer-blanc qui repose sur les bords de la marmite par trois

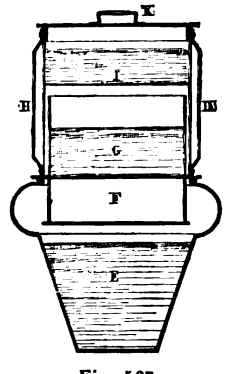


Fig. 567.

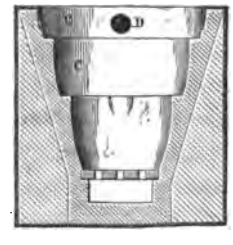


Fig. 568.

oreilles; G, autre casserole qui se place sur la précédente ; H, vase cylindrique en fer-blanc à double enveloppe ; il renferme un diaphragme I au tiers de sa hauteur, et on le ferme par un couvercle K; ce seau repose sur les bords supérieurs de la marmite et embrasse les casseroles F et G ; lorsqu'il est retourné, il n'en embrasse qu'une seule. Voici de quelle manière on emploie l'appareil que nous venons de décrire. Après avoir mis la viande et l'eau dans la marmite, on allume le feu dans le fourneau, et on fait écumer; on remplit ensuite le fourneau de charbon; on met dans les casseroles F et G les ragoûts qu'on doit préparer, et dans la partie supérieure du vase enveloppant, des pommes de terre ou d'autres légumes et de l'eau ; on ferme les portes du foyer et du cendrier, et on abandonne l'appareil à lui-même; après quatre heures, le pot au feu, les ragoûts et les légumes sont cuits. M. Harel a imaginé une foule d'autres petits ustensiles de ménage fort ingénieux et très-économiques.

2135. M. Harel a introduit dans les fourneaux potagers une amélioration très-importante et qui devrait être généralement adoptée. On sait que ces fourneaux sont toujours chauffés au charbon de bois, et que les gaz qui proviennent de la combustion se dégagent autour des vases placés sur le fourneau, et se répandent nécessairement dans les cuisines, quand les potagers ne sont pas placés sous un manteau de cheminée. Mais, même dans ce cas, il en est encore ainsi, parce que les cheminées étant très-grandes, et les appels extérieurs insuffisants, il se forme toujours dans la cheminée deux courants opposés, et celui qui est dirigé de haut en bas amène dans la pièce une partie des gaz provenant de la combustion. M. Harel est parvenu à éviter cet inconvénient, en fermant les portes des cendriers et en faisant communiquer chaque fourneau par un orifice latéral (*fig.* 569 *et* 570) avec une cheminée en tôle; par cette disposition, l'air qui alimente la combustion arrive sur le combustible par la partie supérieure du fourneau, et les produits de la combustion s'échappent par l'orifice latéral.

Fig. 569.

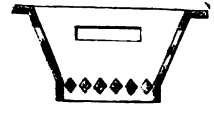


Fig. 570.

2136. *Caléfacteur de Lemare.* — Cet appareil est représenté en coupe verticale (*fig.* 571). Il est composé d'un vase cylindrique ABCD, soudé à un autre semblable A'B'C'D' concentrique, qui l'enveloppe de toute part. Au fond du vase à double enveloppe se trouve une ouver-

ture E, fermée par un registre *m*. L'espace compris entre les deux enveloppes a trois ouvertures : l'une, située à la partie supérieure, est destinée à introduire l'eau que cette capacité doit contenir ; une autre, située à la partie inférieure, est garnie d'un robinet ; enfin la dernière est destinée à faire écouler la vapeur par un tuyau qu'on y adapte, lorsque l'on couvre l'appareil d'une enveloppe ouatée, ou quand on utilise la vapeur. Le vase dont nous venons de parler et qui forme le corps du fourneau, reçoit à la partie supérieure un vase concentrique M, d'un diamètre plus petit de 0m,009, d'une moindre hauteur, et soutenu par des rebords qui s'appuient sur ceux du vase enveloppant. L'espace qui se trouve libre au-dessous du vase M forme le foyer ; on y place un disque en tôle à rebords, dont le fond percé d'un grand nombre de trous est soutenu par trois petits pieds à 0m,006 du fond du vase double. N est un vase de fer-blanc fermé par un couvercle de même métal et qu'on place sur le premier. Pour se servir de cet appareil, on commence par mettre l'eau et la viande dans le vase M, on allume le feu, et on met ce vase en place, de manière que ses bords ne s'appliquent pas exactement sur ceux de l'enveloppe, afin que l'air brûlé puisse se dégager ; pour cela on a ménagé sur les rebords du vase trois petites saillies qui le maintiennent soulevé quand ils ne sont pas en regard de trois petites entailles correspondantes pratiquées sur les bords de l'enveloppe. Aussitôt que l'ébullition se manifeste, on écume ; alors on tourne la marmite de manière que les saillies dont nous avons parlé entrent dans les échancrures des bords du vase ; on place le vase N qui doit contenir les légumes ; on ferme le registre *m*, et on couvre l'appareil de l'enveloppe ouatée PQ. Après six heures, la viande et les légumes sont cuits. On peut remplacer le vase M par deux autres demi-circulaires de même hauteur, dont l'un sert pour le pot au feu, l'autre pour faire un bœuf à la mode ou d'autres mets analogues. Pour faire des rôtis, on remplace le vase M par un four de campagne, et on met le vase M dans un autre, placé à côté, où il est chauffé par la vapeur qui s'échappe. Dans cet appareil, la chaleur nécessaire est produite par une faible combustion, alimentée par une petite quantité d'air qui passe à travers les fissures du registre *m*, et qui s'échappe par

Fig. 571.

les orifices très-étroits qui restent autour des rebords de la marmite M.

Cet appareil est très-économique, car il utilise presque toute la chaleur développée par le combustible. Dans une expérience faite par M. Thenard, on a versé $13^k,5$ d'eau à 22° dans le vase extérieur, et $15^k,5$ à la même température dans le vase intérieur. En $3^h,30$ on a brûlé 918 grammes de charbon. Le vase intérieur ne renfermait plus que $13^k,69$ d'eau, et le vase extérieur 9, par conséquent on avait vaporisé $6^k,31$ d'eau. L'effet utile a donc été de $6,31 \times 537 = 3388$, plus $29 \times 78 = 2262$, ou 5650 unités; et les 918 grammes de charbon brûlé ont développé $0,918 \times 7000 = 6426$ unités; ainsi l'appareil utilise $5650 : 6426 = 0,88$ de la chaleur produite. Pour un pot-au-feu de 3 kilogrammes de viande et de $4^k,5$ d'eau, on consomme 280 grammes de charbon.

Le caléfacteur de Lemare est très-économique et il n'exige aucun soin; mais il est sujet à des accidents, car ce n'est que par des tâtonnements qu'on parvient à régler la combustion pendant la cuisson.

2137. En 1820, Lemare avait livré au commerce un grand nombre d'appareils de ménage sous le nom d'*autoclaves*, destinés à cuire les viandes à une température élevée, et par conséquent sous une grande pression. Ces appareils étaient des marmites en cuivre, dont l'orifice rétréci et elliptique était fermé par un couvercle ovale dont les axes avaient de plus grands diamètres que ceux de l'orifice; la pression de la vapeur pressait le couvercle contre les bords, et la fermeture était d'autant plus étanche que la pression était plus forte. Les autoclaves étaient garnis d'une soupape de sûreté. Au moyen de ces appareils, on préparait un pot-au-feu dans un temps très-court; cet avantage les répandit promptement, mais plusieurs accidents fâcheux les firent abandonner.

2138. *Appareil culinaire de Sorel.* — La figure 572 représente une coupe de l'appareil réduit à sa plus grande simplicité. Il se compose d'un vase enveloppant formé de deux cylindres concentriques dont l'intervalle est rempli de charbon menu; d'un vase B à double paroi verticale, garni extérieurement de petits appendices, qui s'appuient sur la surface de l'enveloppe A; il est fermé par un autre vase C garni d'un couvercle. Les vases B et C renferment les liquides qui doivent être échauffés, l'espace D de l'eau. Ce vase annulaire communique avec un cylindre vertical E, dans lequel se trouve un flotteur F, qui agit par l'intermédiaire d'une chaîne sur le registre

G de l'orifice d'accès de l'air dans le foyer. Le vase annulaire D étant fermé, quand le liquide qu'il contient s'échauffera, la pression à sa partie supérieure augmentera très-rapidement par l'accroissement de tension de l'air et de la vapeur, et on conçoit facilement que la longueur de la chaîne de suspension du registre G puisse être déterminée de manière que le registre soit fermé, et que la combustion s'arrête quand le liquide de D commence à entrer en ébullition. On pourrait de même maintenir le liquide des vases B et D à une température sensiblement constante.

Fig. 572.

2139. Les figures 573 et 574 représentent deux coupes verticales perpendiculaires d'un appareil culinaire complet. A, foyer; il est placé dans l'intérieur de la marmite B; un diaphragme *a*, percé de trous, qui entre à coulisse dans la marmite, empêche le contact de la viande et des légumes avec les parois du fourneau. C, première casserole placée au-dessus de la marmite; on y met des légumes qui sont cuits par la vapeur du bouillon, qui passe à travers le tuyau *b*. D, seconde casserole qui surmonte la précédente et dans laquelle pénètre la vapeur de la casserole C, en traversant le tuyau *c*. E, rôtissoire

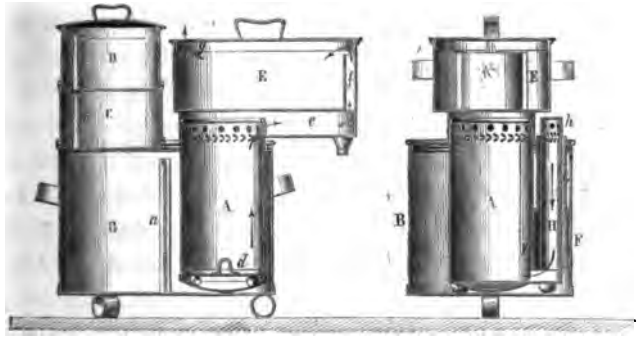


Fig. 573. *Fig.* 574.

montée au-dessus du fourneau; elle reçoit directement l'action du feu; l'air chaud qui s'échappe du combustible placé sur la grille *d*, passe dans la capacité *e*, et pénètre dans l'intérieur de la rôtissoire

par le conduit *f*, pour s'échapper ensuite par une fente *g*, percée dans le couvercle. Cette circulation est indiquée par des flèches. Le régulateur du feu, comme l'appelle M. Sorel, se compose d'une cloche F, plongée dans le bouillon ; elle est fermée au-dessus, ouverte inférieurement et munie d'un tuyau, qui enveloppe le tube H, destiné à conduire l'air extérieur dans le fourneau. Ce tube, fermé en dessus, débouche au-dessous de la grille qui reçoit le combustible ; sa partie supérieure est percée de petits trous *h*, par lesquels pénètre l'air, dont la marche est indiquée par les flèches. La vapeur qui se forme sous la cloche par l'effet de l'ébullition, en chasse d'abord l'air, qui s'échappe par un tuyau, qu'on ferme ensuite avec un bouchon. Elle soulève alors la cloche, ainsi que le tuyau, qui, couvrant en partie les orifices *h*, rétrécit le passage de l'air. A ce moment, le feu se ralentit, l'ébullition cesse, et la pression de la vapeur sous la cloche diminue : celle-ci descend lentement, et le tuyau, découvrant les orifices *h*, permet à une nouvelle quantité d'air de pénétrer dans le foyer pour activer la combustion. Par le jeu non interrompu du régulateur, l'ébullition se maintient d'elle-même constamment au même point.

Dans une expérience faite à la Société d'encouragement, on a placé dans l'appareil 2 kilogrammes de bœuf avec 6 kilogrammes d'eau, $1^k,312$ de veau à rôtir, $0^k,500$ de haricots secs, et $0^k,500$ de pruneaux. Le charbon introduit dans le foyer pesait $0^k,612$. L'expérience a duré 5 heures 40 minutes. Pendant cet intervalle, le régulateur a fonctionné de manière à entretenir le bouillon à une légère ébullition. A la fin de l'opération on s'est assuré que le bouillon ne laissait rien à désirer, et que les viandes, les légumes et les pruneaux étaient parfaitement cuits. Le charbon non consommé qui restait dans le foyer, pesait 250 grammes ; ainsi la consommation a été seulement de 372 grammes ; 1 kilogramme de charbon coûtant 0 fr. 20, la valeur de combustible consommé était de 7 centimes. Des expériences faites individuellement par chacun des membres du comité des arts économiques de la Société d'encouragement ont donné les mêmes résultats.

2140. M. Sorel s'est servi du même principe pour maintenir un liquide à une température constante. Un de ces appareils a été employé au chauffage d'un couvoir artificiel par une circulation d'eau chaude. Sous tous les rapports cet appareil est préférable à celui de Bonnemain ; mais M. Sorel a fait comme ce dernier la faute de maintenir l'eau du réservoir à une température constante ; ce n'est

pas l'eau au départ de la circulation, qui doit être maintenue à une température constante, mais l'air du couvoir ; par conséquent le régulateur devait se trouver dans le couvoir, et non dans le fourneau.

Ce dernier appareil modifié a été employé par M. Becquerel dans ses recherches sur la chaleur animale ; il maintient le liquide qu'il renferme à une température qui, pendant un temps très-long, ne varie pas de $\frac{1}{10}$ de degré.

Les appareils culinaires de M. Sorel construits en fer-blanc et de disposition complexe se détériorent rapidement; l'emploi ne s'en est pas répandu.

2141. On a fait des marmites thermostatiques ou norwégiennes dans lesquelles on introduit les substances nécessaires pour constituer le bouillon; ces marmites sont chauffées de façon à les porter à l'ébullition, on les place ensuite dans une enveloppe isolante qui les garantit du refroidissement et la cuisson s'achève d'elle-même. M. Coyre avait essayé pour l'alimentation des troupes de chauffer ces marmites en y faisant passer un courant de vapeur; nous avons dit l'inconvénient qui résulte de l'introduction de l'eau de condensation dans les aliments.

2142. Pour la cuisson des légumes destinés à la nourriture des animaux, on emploie des appareils très-simples, qui se composent d'une chaudière, au-dessus de laquelle on place un vase de bois ou de métal, renfermant les légumes, et dont le fond est percé d'un grand nombre d'orifices pour admettre la vapeur. On favorise cette circulation en fixant au fond du vase un ou plusieurs cylindres fermés par le haut, ouverts par le bas, et percés latéralement d'un grand nombre de petits trous.

Chauffage des bains à domicile.

2143. Le moyen le plus commode est le chauffage par circulation, très-facile à disposer quand les baignoires sont fixes et que le fourneau peut s'établir à côté. On a proposé plusieurs dispositions pour chauffer les bains avec des foyers mobiles; un de ces appareils consiste en un cylindre en tôle renfermant un foyer à la partie inférieure, et surmonté d'une chaudière à eau chaude échauffant le bain par circulation; au-dessus est un espace pour chauffer le linge. On a proposé aussi de placer l'appareil de chauffage dans l'eau de la baignoire. M. S. Charles place le foyer sous la baignoire et il adapte à celle-ci un couvercle et les accessoires qui permettent de s'en servir

au coulage du linge. Toutes ces dispositions présentent un grand embarras pour faire écouler l'air brûlé hors de la pièce. Il serait dangereux de le faire dégager dans l'appartement ; car, pour chauffer un bain, dans les conditions ordinaires, il faut à peu près 1 kilogramme de charbon qui produit un volume d'acide carbonique suffisant pour transformer complétement en acide carbonique l'oxygène de 9 mètres cubes d'air.

2144. On a proposé plusieurs fois de chauffer les bains au moyen d'une lampe ordinaire à huile. Il est facile de comprendre que c'est là un procédé qui ne supporte pas l'examen.

M. Delaroche aîné construit un appareil qu'il nomme *chauffe-bain parisien*, qui est formé d'un fourneau en tôle et fonte surmonté d'une chaudière en cuivre étamé ; cette chaudière est cylindrique ; elle contient en son centre un tuyau traversé par les produits de la combustion et qui s'adapte sur un tuyau se rendant à une cheminée. Cette chaudière porte deux tubulures, une en haut servant de trop-plein, l'autre à la partie inférieure sur laquelle s'adapte le tuyau qui mène l'eau à la baignoire et qui doit être muni d'un robinet ; l'appareil est haut et étroit ; il tient donc peu de place ; pour un bain, la contenance de la chaudière est de 100 litres, l'appareil a $0^m,35$ de diamètre et $1^m,85$ de haut ; cet appareil présente cet avantage que le foyer est indépendant de la chaudière, et que celle-ci est indépendante de la baignoire ; un bain est chauffé en 30 minutes.

Appareils de torréfaction du café.

2145. Tout le monde connaît les appareils généralement employés pour produire cet effet. A l'exposition universelle de 1855, on avait admis deux torréfacteurs qui contenaient chacun une amélioration que je crois devoir signaler. Dans l'appareil de M. Corroyer, d'Amiens, un cylindre en tôle fixe est placé au-dessus d'un foyer dont la flamme parcourt successivement toute la surface ; dans ce cylindre s'en trouve un autre concentrique, de même longueur, dont la surface est formée d'une toile métallique serrée, et auquel on donne un mouvement de rotation à l'aide d'une manivelle : c'est dans ce dernier cylindre qu'on place le café à torréfier. Il paraîtrait que le café, étant échauffé par le rayonnement de l'enveloppe extérieure et par l'air, et ne touchant jamais la tôle, les produits sont supérieurs à ceux qu'on obtient dans les brûloirs ordinaires.

M. Renou, de Rouen, avait à l'Exposition un appareil composé de plusieurs brûloirs disposés à la méthode ordinaire, mais de grandes dimensions, et mis en mouvement par une petite machine, dont la vapeur était produite par la chaleur de l'air brûlé qui avait chauffé les cylindres ; l'axe de rotation était creux, et renfermait un thermomètre qui permettait d'opérer la torréfaction à une température à peu près constante.

2146. Le torréfacteur à cacao, de M. Devinck (*Bulletin de la Société d'encouragement*, tome XLIX), se compose d'un foyer à large grille, qui rayonne sur une plaque de tôle forte, percée de trous, placée à une certaine distance, et qui a pour effet de distribuer uniformément la chaleur ; au-dessus de cette plaque se trouve l'appareil de torréfaction, formé de deux cylindres de tôle concentriques, soumis à un mouvement de rotation continu ; le cacao est placé dans le cylindre intérieur ; l'air brûlé parcourt la surface du cylindre extérieur ; l'axe de rotation est creux et peut recevoir une sonde, qui permet de reconnaître à chaque instant l'état de l'opération ; un thermomètre, qui communique avec l'espace qui environne les cylindres, en donne la température.

Je pense que, pour la torréfaction des graines sur une grande échelle, il y aurait avantage à employer le mode d'opération imaginé par M. Rolland pour la torréfaction du tabac à fumer.

Emploi du gaz d'éclairage dans l'économie domestique.

2147. J'ai dit (302 *bis*), à l'occasion de la chaleur développée par les différents combustibles, qu'un kilogramme de gaz d'éclairage produisait par sa combustion 10269 calories, et qu'au prix de 0 fr. 30 le mètre cube, le prix de revient de 1000 calories était de 0 fr. 056, tandis que celui de 1000 calories obtenues par la combustion du charbon de bois était, à Paris, de 0 fr.,0286. La différence peut se trouver certainement compensée par les pertes de chaleur qui ont lieu pendant l'allumage du charbon et lors de l'extinction du foyer, pertes qui n'existent pas quand on emploie le gaz comme combustible, parce que l'allumage et l'extinction ont lieu instantanément. Il est important de remarquer que les charbons de Paris et tous ceux de même nature, dont l'usage est maintenant très-répandu, coûtent à peu près autant que le charbon de bois. Au prix de 4 francs l'hectolitre comble de charbon de 22 kilogrammes, les 100 kilogrammes reviendraient à 18 fr. 18 ; le charbon de Paris, à 0,20 de

cendres, revient à 16 francs. En retranchant 0,14 de cendres pour l'assimiler au charbon de bois, le prix s'élèverait à 18 fr. 61. Le grand obstacle qu'on rencontra dans l'établissement du chauffage au gaz, appliqué à la préparation des aliments, a consisté dans les frais d'installation et dans la crainte des explosions qui peuvent résulter d'une négligence dans la fermeture des robinets, ou des fuites dans les tuyaux de conduite. Actuellement, ce mode de chauffage tend à se répandre beaucoup.

2148. Les appareils de chauffage au gaz sont tous fondés sur le même principe : à savoir, brûler le gaz mélangé à une quantité d'air au moins égale à celle qui est nécessaire à la combustion complète de façon à éviter ainsi un dépôt de noir de fumée sur les surfaces des appareils chauffés et l'odeur désagréable résultant de la combustion incomplète, en même temps qu'on obtient la meilleure utilisation possible du combustible. Une des dispositions primitivement employées a consisté à faire arriver le gaz par un tuyau vertical dans une enceinte fermée à la partie supérieure par une toile métallique. Le gaz, en s'épanouissant sous la toile, se mêle avec de l'air extérieur, et, quand on l'enflamme au-dessus, il produit un grand nombre de petites flammes courtes, peu lumineuses. On arrive, en employant ainsi un excès d'air, à répartir la flamme sur une plus grande surface, et à produire une combustion complète. Si on se servait de becs ordinaires, la flamme s'éteindrait au contact des surfaces froides des vases à chauffer ; il en résulterait une dépense plus grande, et en même temps un dépôt de noir de fumée sur les vases, ce qui serait encore un inconvénient.

On pourrait penser qu'avec cet appareil il est facile de faire varier la quantité de chaleur dégagée dans un temps donné, et qu'il suffit pour cela d'ouvrir plus ou moins le robinet du tuyau qui amène le gaz : il n'en est pas tout à fait ainsi. Si on ferme un peu ce robinet, les flammes deviennent plus courtes, et le moindre courant d'air suffit pour les éteindre ; si on l'ouvre davantage, la flamme s'allonge et vient s'éteindre contre les surfaces froides, et on a les inconvénients que nous avons signalés plus haut. Afin d'obtenir la variation d'intensité du foyer, indispensable dans l'économie domestique, on a imaginé plusieurs appareils, et la figure 575 représente la disposition adopté par MM. Thauvin et Georgi.

2149. L'appareil se compose de 3 cylindres concentriques *mm*, *nn*, *pp*, fermés par le haut par une toile métallique *tt* qui est recouverte par une plaque de fonte, à jour, portant des saillies destinées

à supporter les vases à chauffer. Dans l'axe du cylindre central arrive un tuyau à gaz *a*, percé d'un orifice, et muni d'un robinet ; dans les deux intervalles annulaires des trois cylindres se trouvent deux tubes circulaires, percés de trous, et communiquant avec la conduite de gaz par des tuyaux *b* et *c* munis aussi de robinets. Chacun de ces tuyaux est indépendant des autres, et on peut, en ouvrant un, deux ou trois robinets, produire une combustion qui peut varier, par des combinaisons convenables, d'une manière presque continue, du simple au décuple.

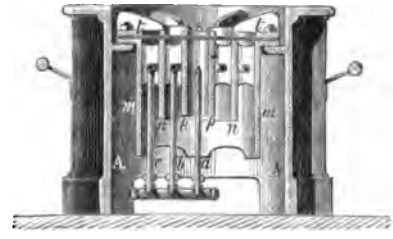


Fig. 575.

Les appareils à toile métallique sont, comme on le voit, d'une grande simplicité ; mais la toile est sujette à s'encrasser, et nécessite d'être remplacée assez fréquemment.

2150. Une autre disposition due à M. Bunsen et représentée figure 576, n'a pas cet inconvénient. Elle se compose d'un tuyau circulaire horizontal TAB, portant un certain nombre de tubes verticaux *a*, par lesquels le gaz s'échappe ; ces tubes sont entourés d'un autre *cd*, d'un diamètre beaucoup plus grand, qu'on faisait autrefois légèrement conique à la partie supérieure, et percé, à la hauteur du dégagement du gaz, de deux trous circulaires *o* pour l'introduction de l'air. Le mélange des deux gaz se fait ainsi dans le tube extérieur, et vient brûler à l'orifice supérieur. Par cette disposition, on n'a pas à craindre l'encrassement des toiles métalliques ; mais le rapport des sections d'entrée du gaz et de l'air doit être déterminé avec le plus grand soin dans la construction, sans quoi la combustion s'effectue mal.

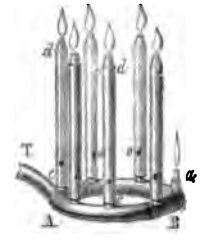


Fig. 576.

2151. Ces derniers appareils, supérieurs comme emploi aux appareils à toile métallique, présentent cet inconvénient que le trou de sortie du gaz s'obstrue fréquemment ; on est obligé de nettoyer le tube et d'épingler l'orifice. Un grand nombre de dispositions toutes à peu près semblables, quant au principe et au résultat, ont été employées pour éviter ces nettoyages. Le brûleur est alors formé par une couronne en forme de tore ou par un champignon très-aplati percés de trous par lesquels s'échappe le mélange de gaz et d'air ; dans

tous ces appareils le mélange s'opère avant l'arrivée du gaz à la couronne ou au champignon ; dans la plupart d'entre eux, le tuyau qui amène le gaz débouche par une ouverture étroite dans l'axe d'un autre tuyau fixé horizontalement à la couronne ou verticalement au centre du champignon, plus large que le tuyau d'arrivée du gaz et percé d'un ou de plusieurs orifices pour l'arrivée de l'air qui est entraîné par le mouvement du gaz, et qui se mélange avec lui avant d'arriver à la couronne ou au champignon. Différentes dispositions ont été imaginées pour faciliter le démontage et le nettoyage facile des appareils.

Le réchaud consiste alors dans un bâti circulaire s'il n'y a qu'un seul brûleur, ou rectangulaire s'il y en a plusieurs ; il est alors fermé à la partie supérieure par une plaque vernie de fonte et percée d'autant d'ouvertures circulaires qu'il y a de brûleurs ; ce bâti n'a guère qu'une hauteur de $0^m,10$, y compris les pieds qui le supportent. Les ouvertures sur lesquelles doivent se placer les vases à échauffer sont munies d'appendices dirigés dans le sens du rayon et sur les extrémités desquels doivent poser les vases.

2152. Le livre de M. Germinet, attaché à la Compagnie parisienne de chauffage et d'éclairage par le gaz, donne la description détaillée des divers systèmes, fort nombreux, d'appareils employés ; en même temps il fournit des résultats d'expériences comparatives, faites en employant comme moyen de chauffage soit le charbon de bois, soit le gaz, et ce dernier avec différents brûleurs.

Relativement aux différents brûleurs, M. Germinet trouve que, pour porter un litre d'eau de 0 à 100°, il faut dépenser les quantités de gaz suivantes :

Brûleur à toile métallique	36 à 37 litres.
— à 6 tubes Bunsen	35 à 39
Champignon à flammes divisées	48 à 57
Champignon à flamme pleine	37
Couronne à jets divisés verticaux	42
— — convergents et divergents	52
— — convergents	44

La dépense comparée pour différents combustibles est pour échauffer un kilogramme d'eau de 0 à 100° :

Pour le gaz	$0^f,012$
le charbon de bois	0 ,012 à 0,015
l'alcool	0 ,085

Dans le prix relatif au charbon de bois il n'a pas été tenu compte du déchet dû à l'allumage et aux cendres de fourneau qui ne s'élève pas à moins de 20 pour 100.

Une comparaison semblable a été faite pour la dépense nécessaire à obtenir 2 litres et demi de bouillon au moyen d'un kilogramme de bœuf : en cinq heures on a trouvé :

Pour le gaz.....	0f,143
Pour le charbon de bois.....	0 ,17

Il semble donc résulter de l'ensemble de ces expériences un certain avantage au point de vue du prix en faveur du gaz d'éclairage.

2153. On emploie aussi le gaz pour rôtir et griller les viandes, les dispositions employées sont aussi très-diverses ; dans la rôtissoire Marini, le four est fermé, cylindrique et vertical, avec une porte latérale ; un brûleur circulaire est placé à la base du four et la viande est suspendue à 0m,15 ou 0m,20 du brûleur.

La rôtissoire Jacquet est une boîte rectangulaire en tôle, ouverte à l'avant et munie à la partie supérieure d'une rampe à gaz qui brûle blanc de façon à rayonner la chaleur sur la pièce à rôtir ; l'air chaud circule entre la plaque supérieure de la caisse et une plaque placée au-dessous et revient ensuite de l'arrière à l'avant du four pour se dégager par la partie ouverte dans la hotte de la cuisine ; la pièce de viande est enfilée sur une broche placée au centre de la caisse parallèlement à la rampe, et une lèchefrite placée au-dessous reçoit le jus qui s'écoule.

La rôtissoire Legrand est aussi une caisse rectangulaire, mais fermée par deux portes à l'avant ; deux rampes parallèles fournissent le gaz qui brûle bleu ; dans ce cas la cuisson a lieu par l'air chaud et sans rayonnement.

La rôtissoire Martin est une caisse en tombeau, en partie ouverte à l'avant ; à l'arrière et au bas de la caisse se trouvent deux rampes de gaz dont les jets brûlent blanc et sont dirigés vers le centre de la caisse où se trouve la pièce de viande.

Dans la rôtissoire Bengel, qui a une forme à peu près analogue, il y a deux rampes placées à la partie inférieure et de chaque côté de la caisse, la flamme brûle blanc, de sorte que la viande est cuite à la fois sous l'influence de l'air chaud et du rayonnement.

En plaçant dans ces différents appareils un gril à une hauteur convenable, ils peuvent servir à faire des grillades.

2154. M. Germinet donne les chiffres suivants pour la dépense

comparée de gaz et de charbon de bois pour obtenir le même effet utile.

Un poulet pesant $1^k,620$ avant la cuisson a été réduit à $1^k,180$ après une heure ; la dépense de gaz a été de 333 litres, soit de 0 fr. 10.

Un autre poulet pesant $1^k,600$ cuit au charbon de bois a subi une heure 20 minutes de cuisson, il a été réduit à $0^{kr},830$, la dépense a été de $1^k,260$ de charbon, soit 0 fr. 25.

Il semble au premier abord ressortir de ces chiffres un avantage énorme en faveur du chauffage au gaz ; mais on remarquera que le poulet cuit au gaz devait être beaucoup moins cuit que celui qu'on a rôti par le charbon ; en effet, le premier n'a perdu pendant la cuisson que 440 grammes, tandis que le dernier a perdu 770 grammes, c'est-à-dire près du double ; si l'on fait attention que la perte finale à la cuisson est évidemment moins rapide que la perte initiale, on devra en conclure que la dépense pour obtenir une cuisson égale doit être à très-peu près la même.

2155. Quand on réunit sur un même appareil les différents moyens de chauffage que nous avons indiqués, on obtient un fourneau qui peut répondre à tous les besoins de la cuisine ordinaire et auquel on donne alors le nom de cuisinière ; telles sont les cuisinières Vieillard, Legrand, etc.

2156. Nous devons faire ici une observation importante et sur laquelle nous aurons plus tard l'occasion de revenir : c'est qu'il est absolument nécessaire, quand on emploie le gaz comme moyen de chauffage, d'assurer la ventilation de la pièce dans laquelle le gaz est brûlé ; il est absolument nécessaire d'évacuer les produits de la combustion, et dans tous les cas il sera utile de les empêcher de se mêler à l'air de la pièce. Le gaz brûlant sans odeur et sans fumée, beaucoup de personnes sont portées à croire qu'il n'y a pas d'inconvénient à laisser les gaz de combustion arriver dans la pièce où se fait le chauffage, c'est là une grave erreur absolument contraire aux règles de l'hygiène et qui pourrait avoir une influence très-fâcheuse sur la santé des personnes placées dans ces mêmes pièces.

2157. *Chauffage des bains.* — Un grand nombre de dispositions sont employées pour les chauffe-bains : ce sont en général des chaudières verticales, beaucoup plus hautes que larges, munies d'un brûleur formé de rampes à gaz et air mélangés et placé à la porte inférieure de la chaudière ; le foyer est intérieur ; dans le bouilleur Legrand la fumée échauffe d'abord un grand nombre de petits tubes

transversaux dans lesquels se trouve l'eau et s'échappe ensuite par un tube central placé dans l'axe de la chaudière ; dans le chauffe-bain Jacquet la chaudière est formée de trois enveloppes concentriques, l'eau se trouve dans l'enveloppe intérieure et entre les deux enveloppes extérieures; la communication est établie entre les deux capacités qui contiennent l'eau au moyen de tubes horizontaux ; la fumée circule entre la deuxième et la troisième enveloppe ; dans ces deux appareils la chaudière est supportée par un socle qui sert de chauffe-linge ; dans le socle du bouilleur Jacquet se trouve à la partie inférieure un foyer à réflecteur qui permet de chauffer la salle de bains.

Dans ces appareils on consomme, d'après M. Germinet, 1980 litres de gaz pour chauffer 280 litres d'eau de 10° à 35°.

Le chauffe-bain Vieillard est conçu d'après un principe complétement différent ; il se compose d'un réservoir cylindrique à la partie inférieure duquel se trouve un brûleur analogue à ceux des appareils précédents. Ce brûleur est entouré d'une enveloppe cylindrique concentrique au réservoir et qui se termine par un chapeau tronc-conique rétréci. Au-dessus de l'ouverture se trouve une pomme d'arrosoir par laquelle l'eau à chauffer arrivant sous pression s'élance verticalement pour retomber en pluie fine et venir se loger entre les deux enveloppes ; le gaz chaud de la combustion se trouve ainsi en contact intime avec l'eau à chauffer. Celle-ci, après sa chute au bas de l'appareil, s'écoule directement dans la baignoire par un tube placé au bas du réservoir ; on règle l'arrivée de l'eau et celle du gaz de façon à obtenir la température convenable. Voici d'après M. Germinet les résultats fournis par cet appareil :

1 litre	d'eau	échauffé	de 10 à 41°	exige	$3^{l},76$ de gaz.
1	—	—	de 10 à 55	—	5 ,35
1	—	—	de 10 à 85	—	13 ,87

On voit d'après cela que l'effet utile diminue sensiblement quand la température de l'eau échauffée s'élève ; en effet, quand l'eau s'échauffe à 41°, la dépense pour une calorie est de $0^{lit},12$ de gaz ; quand l'eau est portée à 85°, la calorie exige $0^{lit},18$, soit une fois et demie la quantité exigée dans le premier cas.

2158. On a fait encore de nombreuses applications du gaz au chauffage domestique ; on s'en sert pour les chauffe-pieds, les chauffe-assiettes, pour torréfier le café, chauffer les fers à repasser, etc.

2159. On emploie aussi le gaz pour chauffer les appartements soit au moyen de foyers ouverts, de poêles ou de calorifères. Nous reviendrons sur ces questions.

Observations sur les différents appareils employés dans la préparation des aliments.

2160. Pour la préparation en grand du bouillon destiné à être livré à la consommation, dans des établissements analogues à celui de la Compagnie hollandaise, il faut s'en rapporter aux résultats obtenus dans les nombreux essais faits par cette compagnie, et préférer les appareils à vapeur aux autres ; c'est ce qui résulte aussi de ce que nous avons dit relativement aux cuisines Egrot. On peut aussi employer les bains de liquide bouillant à des températures élevées, et placer dans les chaudières des régulateurs de Sorel pour obtenir une température constante dans le bain.

2161. Pour les cuisines d'hôpitaux, et en général pour les grands établissements publics, les appareils devant être appropriés aux besoins du service, aucun appareil, quelque bien disposé qu'il fût, ne conviendrait à plusieurs établissements que dans des circonstances tout à fait identiques. Les fourneaux en briques sont souvent préférables aux fourneaux en fonte, qui ont le grand inconvénient d'occasionner une grande perte de chaleur par leur surface, et de chauffer les cuisines de manière à les rendre très-insalubres. Il est toutefois utile de conserver la fonte pour envelopper les fourneaux en briques, de manière à les rendre plus propres et plus solides.

L'administration de la guerre emploie dans les hôpitaux des fourneaux de construction diverse suivant les localités ; en Algérie et en Corse, on emploie des fourneaux tout en briques de construction très-simple ; ils sont nécessairement indiqués dans ce cas à cause de l'impossibilité où on serait de trouver des ouvriers pouvant réparer des fourneaux plus compliqués ; ils ont l'inconvénient d'exiger beaucoup de place ; il faut de plus des foyers de rechange pour permettre les réparations ; mais ils ont l'avantage précieux pour les localités où ils sont employés de ne rayonner que très-peu de chaleur. Dans le nord de la France, où le combustible est bon marché, et où le rayonnement a moins d'inconvénients, on emploie des fourneaux métalliques ; dans le Midi on emploie des fourneaux mixtes. Dans tous les cas ces fourneaux sont à foyers indépendants de façon à satisfaire aux variations du service.

2162. En général, on peut diviser en cinq parties l'appareil le plus complet : 1° la partie où l'on prépare la cuisine particulière et accidentelle, et les mets qui exigent une température élevée : elle se compose de plaques métalliques placées immédiatement au-dessus du foyer ; 2° les marmites destinées à la préparation du bouillon, des soupes, et à la cuisson des légumes et des ragoûts ; 3° les fours à faire les rôtis, et qui remplacent les fours de campagne ; 4° la chaudière à eau chaude ; 5° les fours qui doivent maintenir les plats chauds.

2163. Les plaques qui sont placées au-dessus du foyer sont indispensables toutes les fois que le fourneau doit servir à la préparation de toutes sortes de mets. Il est préférable que ces plaques soient en fer plutôt qu'en fonte, ces dernières étant sujettes à se casser et à se voiler par l'action de la chaleur. On emploie de préférence le fer en bandes, de 0,005 à 0,01 d'épaisseur. Les petits jours qui restent entre les bandes ne laissent point dégager de fumée, parce que l'air extérieur est toujours appelé dans l'intérieur du fourneau. Cependant on les fait presque toujours en fonte, cette substance coûtant moins cher que le fer. Il serait important que ces plaques restassent toujours couvertes, car, lorsqu'elles sont libres, elles occasionnent une grande perte de chaleur par leur rayonnement. En les supposant seulement à 300°, la perte de chaleur correspondrait au moins, par heure et par mètre carré, à la chaleur produite par la combustion de 1 kilogramme de houille.

2164. Les chaudières destinées à contenir des liquides dont la température ne doit pas dépasser 100°, sont placées au delà du foyer. Il est important qu'elles ne soient pas chauffées successivement par le courant d'air brûlé, parce qu'elles le seraient inégalement, et que l'une d'elles n'aurait la température convenable qu'autant que celle des autres serait trop haute ou trop basse. Cette condition peut facilement être remplie à l'aide de registres ; seulement il faut un peu de surveillance pour maintenir les marmites à la température la plus favorable, et toujours pleines jusqu'à la partie supérieure des carneaux qui les environnent.

Les marmites destinées aux ragoûts sont ordinairement peu profondes. Elles peuvent être placées à la suite de celles dont nous venons de parler ; mais elles doivent aussi avoir des prises distinctes d'air chaud, pour ne pas être chauffées nécessairement par le même courant.

Pour ces différentes marmites, le chauffage direct par l'air brûlé

pourrait être remplacé, dans quelques cas, par un chauffage au bain-marie.

2165. Les fours à rôtir sont toujours des caisses en fonte ou en tôle, ouvertes seulement sur une des faces latérales, où elles sont munies d'une porte, et autour desquelles on fait passer un courant d'air chaud. Ces fours peuvent facilement être placés au-dessous des marmites à ragoûts, et, comme toutes les autres parties du fourneau, ils doivent avoir des prises d'air chaud distinctes. Il est utile de laisser au fond des fours, et à la partie supérieure, de petits orifices s'ouvrant dans les carneaux, afin de faire dégager dans la cheminée les vapeurs qui se produisent pendant la cuisson des viandes.

La chaudière à eau chaude, chauffée par l'air brûlé qui a circulé autour des autres appareils de chauffage, doit être placée à l'extrémité du fourneau. L'air brûlé passera d'abord sous le fond, et ensuite autour de la surface latérale, avant de se rendre dans la cheminée. La quantité d'eau qu'on peut chauffer avec la chaleur perdue des fourneaux de cuisine excède en général de beaucoup celle qui est nécessaire pour les besoins du service et l'appareil de cuisine proprement dit ; mais il est souvent facile d'utiliser cet excès.

2166. Quand les plats sont nombreux, qu'ils ne peuvent être préparés que successivement, dans un intervalle assez long, et qu'ils doivent être servis simultanément, ce qui arrive dans les grandes maisons d'éducation, il devient indispensable de les maintenir chauds jusqu'à l'instant du service. On se sert quelquefois de la partie supérieure du fourneau, qui est toujours à une température assez élevée ; mais la surface libre qu'il présente n'est pas toujours suffisante. Dans ce cas il serait facile de placer au delà du fourneau, ou contre les murs, des caisses en tôle, longues, peu profondes, d'une faible hauteur, qui seraient chauffées par la chaleur perdue, et qui rempliraient parfaitement l'objet qu'on se propose : on pourrait détourner momentanément le courant d'air brûlé de la chaudière à eau chaude pour chauffer ces fours.

2167. Dans tous les modes de préparation des aliments, la quantité de chaleur rigoureusement nécessaire est toujours très-petite relativement à celle qui est consommée dans les fourneaux, même dans ceux qui sont le mieux disposés. Ainsi, dans la préparation du bouillon, on ne doit point produire de vapeurs, ou du moins on doit en produire le moins possible : par conséquent, la dépense réelle de chaleur se réduit à celle qui est nécessaire pour échauffer le liquide à 100° ; mais, pour le maintenir à cette température pendant plu-

sieurs heures, on perd toute la chaleur qui passe à travers l'enveloppe et celle qui reste dans l'air brûlé entrant dans la cheminée. Il en est de même pour toutes les autres opérations qui exigent une température plus élevée. On voit facilement, d'après cela, qu'il est réellement impossible de déterminer les quantités de combustible à consommer, et les dimensions du foyer et du canal d'air brûlé, d'après les effets utiles à produire. Quand les fourneaux ne doivent faire que du bouillon, on pourrait prendre pour point de comparaison les résultats des expériences faites sur les appareils où le chauffage a lieu au bain-marie, en donnant un excès de section au canal, et en se réservant de maîtriser le tirage de la cheminée par un registre. Mais quand le foyer est surmonté de plaques de fer, qui doivent être fortement échauffées pour certaines opérations, il faut uniquement s'en rapporter aux dimensions du canal et du foyer, qui se trouvent dans les appareils reconnus comme satisfaisant complétement aux besoins du service.

Dans beaucoup de grands établissements, les dépenses de combustibles sont considérables, par suite de la mauvaise disposition des fourneaux. Beaucoup chauffent encore au bois ou au charbon de bois ; la substitution de la houille, que permet l'emploi des appareils que nous avons décrits, procurerait une notable économie.

2168. Dans presque toutes les maisons particulières, les fourneaux de cuisine n'ont depuis longtemps éprouvé aucune amélioration ; ils se composent de trémies en fonte, engagées dans une maçonnerie, et dans lesquelles on brûle du charbon de bois. Ce mode de chauffage est insalubre et très-cher : il est insalubre, parce que la totalité ou au moins une partie des produits de la combustion se répand dans la pièce, quoique le fourneau soit surmonté d'une hotte ; il est très-cher, parce qu'on n'utilise qu'une très-petite partie de la chaleur produite par la combustion, et que le combustible employé est le plus cher de tous. Les fourneaux d'Harel évitent le premier inconvénient, mais ils laissent subsister le dernier.

La meilleure disposition que l'on puisse employer est celle des fourneaux dont on se sert dans les grands établissements, mais réduits à l'échelle convenable ; ils présentent en effet plusieurs avantages : aucune partie des gaz qui proviennent de la combustion ne peut se dégager dans les pièces ; on utilise une grande partie de la chaleur produite dans le foyer, soit directement, soit pour le chauffage de l'eau ; enfin on peut brûler de la houille, qui, dans presque toutes les localités, est moins chère que le charbon de bois, ou le

charbon de Paris et ses analogues. Ces fourneaux peuvent être utilisés dans tous les cas, car on peut les construire sur des dimensions aussi réduites qu'on le veut. Quant à la forme du foyer, il est bon qu'elle soit rectangulaire en plan, l'un des côtés du foyer doit rayonner directement dans le four; il est bon que ce côté présente une légère inclinaison sur la verticale; il faut éviter de placer une plaque entre le foyer et le four, ce qui empêche le rayonnement de la plaque de foyer sur les viandes à rôtir. Quand ces dispositions sont obtenues, la plaque de foyer qui rougit rayonne vivement sur l'intérieur du four et on peut obtenir des rôtis présentant toutes les conditions de cuisson et de saveur que l'on peut obtenir à la broche avec des foyers ouverts.

Au point de vue de l'économie, la pratique a complétement confirmé les considérations théoriques, et les fourneaux domestiques en tôle ou en fonte chauffés à la houille constituent actuellement le moyen le moins cher de préparer les aliments et de fournir à tous les besoins d'un petit ménage.

Le chauffage au charbon de bois tend à disparaître de plus en plus; l'économie fait adopter le chauffage à la houille; les raisons de propreté et de commodité font accepter le chauffage au gaz qui revient à peu près au même prix que le chauffage au charbon de bois, comme nous l'avons vu, mais qui reste encore plus cher que le chauffage à la houille.

2169. L'amélioration la plus importante à introduire dans les appareils destinés à la préparation des aliments consiste dans l'évacuation des vapeurs produites, vapeurs qui non-seulement sont nuisibles pour les personnes qui restent dans les cuisines, mais qui se répandent dans les pièces voisines, et sont souvent très-désagréables. Les fourneaux de cuisine, les grands comme les petits, sont presque toujours surmontés d'une hotte; mais cette disposition est loin d'être d'une efficacité suffisante, parce que les vapeurs, étant disséminées dans un grand volume d'air, n'ont pas une température assez élevée pour déterminer un tirage par le tuyau aboutissant de la partie supérieure de la hotte à l'extérieur. Il est toujours important de faire communiquer ce tuyau avec une cheminée, et de faire descendre la hotte aussi bas que possible.

2170. En 1821, M. Darcet a publié à ce sujet un mémoire et une description très-détaillée de la disposition qu'il avait adoptée pour son usage. Elle consiste dans l'emploi de rideaux mobiles, suspendus à la hotte, ce qui permet de réduire autant que possible les sections

d'accès de l'air extérieur. Pour les grands fourneaux de cuisine, l'emploi de châssis vitrés serait préférable, parce qu'ils permettraient de voir tous les appareils. La chaleur dégagée par les surfaces du fourneau serait alors suffisante pour produire le tirage : on pourrait d'ailleurs placer la cheminée d'air brûlé dans celle de sortie des vapeurs. Pour les petits appareils, le même effet serait produit, d'autant mieux que les gaz brûlés se dégagent directement.

Chauffage des fours à cuire le pain.

2171. En France, dans toutes les boulangeries, à un très-petit nombre d'exceptions près, on suit encore l'ancienne méthode pour la cuisson du pain. Les fours n'ont d'autre issue que la bouche par laquelle on enfourne, et on les chauffe en brûlant dans l'intérieur du bois léger sec et refendu. La combustion est très-imparfaite, parce qu'il doit se produire dans le four deux courants opposés, l'un d'air extérieur de dehors en dedans, l'autre d'air brûlé dirigé en sens contraire. En outre, ce mode de chauffage est peu économique, parce que l'air chaud s'échappe, surtout à la fin de l'opération, à une température très-élevée. Les boulangers sont cependant indemnisés d'une partie de la dépense du combustible, par la vente de la braise qu'ils retirent du four. La température de la cuisson du pain varie de 200° à 300° ; la durée est d'environ une demi-heure ; elle doit, d'ailleurs, nécessairement changer avec la grosseur des pains et la température du four.

2172. Il y a un grand nombre d'années, le comte Chabrol de Volvic et M. Legallois, ingénieur, firent établir, pour le service des armées, un four chauffé à la houille et à sole tournante, mais les résultats ne furent pas satisfaisants. Plus tard, M. Caveley construisit des fours aussi à sole tournante, mais disposés d'une autre manière, et qui fonctionnèrent avec succès ; le combustible était de la houille et le chauffage avait lieu par la circulation de l'air chaud ; la sole était mobile autour d'un axe vertical ; son mouvement régularisait la température et facilitait l'enfournement et le défournement. En 1835, MM. Jametel et Lemare ont modifié le mode de chauffage des fours de manière à obtenir une grande uniformité de température, en permettant l'emploi de toute espèce de combustible.

2173. Le four qu'ils avaient construit avait la forme ordinaire ; l'air brûlé qui s'échappait du foyer circulait dans des carneaux horizontaux placés au-dessus et s'écoulait ensuite dans la cheminée.

Entre ces carneaux et la sole se trouvait un espace B, de peu d'élévation et garni de nombreuses chicanes. Autour du foyer on avait pratiqué des caniveaux voûtés C d'une grande section. Un côté de l'intérieur du four communiquait avec l'espace B, celui-ci avec les carneaux C, et ces derniers aboutissaient au côté opposé du four. Il résultait de là que la cuisson du pain s'effectuait par une circulation d'air chaud ; des registres convenablement placés permettaient de régler la température.

Dans les premiers fours de ce genre qui ont été employés, les foyers étaient sans grille, et on reconnut avec surprise que la combustion continuait quoique les portes du foyer et du cendrier fussent fermées hermétiquement et tous les joints garnis d'argile. Ces circonstances avaient fait dire que la combustion s'effectuait sans air ; mais il paraît qu'il se produisait dans la cheminée deux courants en sens contraire, dont l'un amenait de l'air extérieur sur le combustible. Il est possible encore que l'air pénétrât à travers les briques, comme on l'a constaté dans des foyers analogues également fermés. On a essayé dans ces fours de se servir de grilles ordinaires, mais on a obtenu de moins bons résultats qu'avec les foyers sans grille à combustion très-lente.

La *Revue scientifique* (mars 1842) renferme, sur les fours dont il est question, un article de M. Saigey, dans lequel ce physicien a cherché à déterminer la quantité de chaleur utilisée. Voici les données du calcul :

Quantité de farine employée		157^{k}
Eau de pétrissage		79
Pâte		236
Température de la cuisson	300°	
Température du pain à la sortie	100°	
Coke brûlé pendant l'opération		22^{k} 25

Le four étant maintenu à une température sensiblement constante, l'effet utile se compose : 1° de la chaleur employée à la vaporisation de 32 kilogrammes d'eau, qui représente $650 \times 32 = 20800$ unités ; 2° de la chaleur employée à chauffer à 100° les 47 kilogrammes d'eau qui restent dans le pain, et qui est égale à $47 \times 70 = 3290$; 3° de la chaleur employée à échauffer 157 kilogrammes de farine de 30° à 100° : en admettant que la chaleur spécifique de la farine soit, comme celle du bois et de la gomme, la moitié de celle de l'eau, on a $157.70.0,50 = 5495$. En réunissant ces trois quantités, on trouve

29585 unités, tandis que la combustion du coke brûlé a produit 22,25.8000 = 178000. Ainsi l'effet utile est seulement égal à 0,166 de la chaleur produite dans le foyer.

2174. Depuis, M. Carville a imaginé une autre disposition, dont je donnerai une description succincte. La sole du four est formée de plaques épaisses de fonte ; au-dessous et au centre se trouve le foyer, dont l'air brûlé circule en spirale sous une voûte séparée des plaques de fonte par une couche de sable. La fumée circule ensuite dans des carneaux, autour et au-dessus du four, et se rend dans une cheminée placée au centre. Un intervalle plein d'air stagnant est destiné à diminuer le refroidissement de la partie supérieure ; l'activité de la combustion se règle par les registres de la cheminée. D'après des expériences faites à la boulangerie centrale militaire de Paris, ce four réaliserait une économie de 0,50 sur les fours ordinaires chauffés au bois.

2175. Récemment, M. Rolland a construit des fours à cuire le pain, qui paraissent satisfaire à toutes les conditions qu'on peut désirer. Ce nouveau four est circulaire ; la sole est formée des plaques de tôle recouvertes d'un carrelage : elle peut tourner facilement, au moyen d'une manivelle, autour d'un axe vertical reposant sur une crapaudine, qu'on peut soulever plus ou moins pour rapprocher l'âtre de la voûte. Il est chauffé par un foyer à grille, dans lequel on peut brûler toute espèce de combustible. L'air brûlé, en sortant du foyer, s'écoule par 6 tuyaux de fonte placés au-dessous de la sole, et arrive par des carneaux verticaux dans un espace fermé, compris entre le plafond en tôle du four et une enveloppe en fonte, recouverte d'une épaisse couche de cendres. Quand on brûle du bois, on recueille la braise qui tombe, à travers les barreaux très-espacés de la grille, dans un étouffoir fermé par une soupape très-mobile, qui s'ouvre par la chute de la braise, et se referme aussitôt. La rotation de la sole rend plus facile l'enfournement et le défournement, ainsi que l'uniformité de la cuisson.

2176. On a fait anciennement en Allemagne quelques essais pour effectuer la cuisson du pain au moyen de la vapeur surchauffée. Le four, en métal, est établi dans un massif de maçonnerie, et l'âtre mobile peut glisser sur un chemin de fer, pour être amené à l'extérieur. A droite se trouve le foyer, et à gauche la chaudière. La vapeur surchauffée arrive dans l'intérieur du four, et s'écoule par la partie supérieure. La température est réglée par un thermomètre. Il paraît qu'avec cet appareil on a obtenu de bons résultats. Si quel-

ques difficultés nous semblent pouvoir se produire pour une fabrication irrégulière comme celle du pain ordinaire, il n'en serait pas de même pour celle du biscuit, et la vapeur surchauffée pourrait, dans ce cas, rendre des services réels.

2177. La boulangerie a été jusqu'à présent une industrie purement locale, dont la clientèle ne s'étendait jamais qu'à une faible distance. Elle n'a pu être exploitée sur une vaste échelle, si ce n'est dans les cas particuliers, où il s'agissait, dans les grandes villes, de la fourniture du pain pour les troupes et les hospices. Quelques grands établissements, fondés en France, n'ont pu réussir. Malgré cet insuccès, il me semble que par les économies résultant d'un pétrissage mécanique, d'une cuisson continue dans des fours bien disposés, on doit arriver à créer, dans des conditions favorables, de grandes usines de fabrication du pain. C'est ce qui a lieu, du reste, en Amérique, où cette fabrication s'effectue sur une échelle considérable, et devient même une annexe des moulins à farine.

2178. L'administration de la guerre a fait étudier récemment en France un système de voiture-four permettant de fournir du pain aux troupes en campagne.

Sur un truc à ressorts et à quatre roues se trouvent placés deux fours cylindriques et surbaissés occupant toute la longueur de la voiture. La sole du four est en briques placées dans des alvéoles en tôle, la voûte est formée de deux enveloppes en tôle réunies par des boulons; l'intervalle de ces enveloppes est rempli d'une matière isolante; on chauffe au bois à la façon rdinaire; deux cheminées sont placées à l'avant de la voiture pour la sortie des gaz. La nature et la quantité de substance isolante ont été déterminées de façon à emmagasiner la quantité de chaleur nécessaire à la cuisson du pain.

Un four de $1^m,20$ de large sur $2^m,90$ de long reçoit 90 pains de $1^k,500$; on peut faire 12 opérations par vingt-quatre heures.

LIVRE XIII

CHAUFFAGE DES CORPS SOLIDES.

CHAPITRE PREMIER

Considérations générales.

2179. Le but qu'on se propose, en échauffant les corps solides, est quelquefois de les employer à chauffer d'autres corps, ou par leur contact, ou par leur rayonnement; mais le plus souvent on a pour objet de produire la fusion de ces corps, ou certaines actions chimiques.

Dans chaque cas particulier, la nature et la forme des appareils que l'on peut employer dépendent de la nature des corps sur lesquels on opère et de l'effet qu'on veut produire. L'examen de tous les cas qui peuvent se présenter nous obligerait à entrer dans des spécialités qui sont hors de l'objet de cet ouvrage. Nous nous contenterons d'exposer des considérations générales que nous appliquerons ensuite à quelques cas particuliers.

2180. Dans presque tous les fourneaux où l'on soumet les corps à une haute température, l'air brûlé est abandonné, du moins à la fin de l'opération, à une température supérieure à celle des corps chauffés. On n'utilise alors qu'une très-faible partie de la chaleur développée. Par exemple, dans les cubilots destinés à la fusion de la fonte, on emploie $0^k,15$ de coke pour fondre 1 kilogramme de fonte, c'est-à-dire environ 1200 unités de chaleur; or, d'après une expérience de Clément, 1 kilogramme de fonte en fusion projeté dans 20 kilogrammes d'eau, en élève la température de 14°; ainsi la quantité de chaleur nécessaire pour chauffer et fondre ensuite 1 kilogramme de fonte est $14 \times 20 = 280$ unités, et par conséquent la

chaleur utilisée dans les fourneaux à fondre la fonte est $\frac{200}{1200} = 0,23$ de la quantité totale de chaleur développée.

2181. Dans la plupart des usines, l'utilisation de la chaleur perdue est d'une haute importance, parce que la dépense de combustible entre toujours pour une forte proportion dans le prix de revient des produits, et que partout où la consommation de combustible est considérable, une économie sur cette dépense est un bénéfice notable immédiatement réalisé.

Dans les fourneaux à haute température, il y a réellement deux espèces de perte de chaleur : celle emportée par l'air brûlé en pénétrant dans la cheminée, et celle que possède à sa sortie du fourneau le corps solide échauffé, qu'il faut souvent faire refroidir en perdant toute la chaleur contenue dans sa masse.

Sans rien changer aux dispositions des appareils, on peut utiliser la chaleur de l'air brûlé sortant du fourneau à différents usages ; pour chauffer des chaudières à vapeur, des étuves, des séchoirs, des ateliers, etc., en lui conservant une température seulement suffisante pour le tirage. On peut aussi, dans certaines circonstances, disposer les appareils de manière que le corps solide à chauffer marche en sens contraire de l'air brûlé ; par cette disposition, qu'il faut adopter toutes les fois que ce sera possible, l'utilisation consiste dans le commencement du chauffage du corps solide lui-même.

2182. Quant à l'utilisation de la chaleur contenue dans le corps échauffé, lorsqu'il doit être refroidi, elle est plus difficile ; cette chaleur pourrait être, dans certains cas, employée, en partie du moins, par l'intermédiaire d'un courant d'air, à commencer l'échauffement du corps solide. On peut aussi en utiliser une partie pour échauffer l'air d'alimentation du foyer.

2183. Dans tous les cas, il faut chercher à rendre le travail continu afin d'éviter les pertes de chaleur qui ont lieu à chaque interruption par le refroidissement des appareils.

2184. L'utilisation des chaleurs perdues présente quelquefois des difficultés, par la complication des appareils ; d'autres fois on n'a pas l'emploi utile de cette chaleur ; mais ces cas sont rares et il y a réellement peu d'usines dans lesquelles un ingénieur intelligent ne puisse réaliser d'importantes économies de combustible.

2185. Les principes généraux que je viens d'exposer trouvent leur application dans un grand nombre d'industries ; et il est impossible de les passer toutes en revue. Beaucoup, telles que le traitement des mé-

taux, la fabrication du gaz de l'éclairage, etc., ont été l'objet d'ouvrages spéciaux auxquels je renvoie. Je me contenterai donc, pour faire voir l'usage de ces principes, d'examiner quelques opérations, et, pour éviter d'en augmenter le nombre, je traiterai, dans un chapitre spécial, d'un moyen général de chauffage des corps solides, applicable toutes les fois qu'on doit maintenir les corps à une température constante, entre 100° et 400°, je veux parler de l'emploi de la vapeur surchauffée.

CHAPITRE II

Fours à chaux.

2186. La chaux s'obtient, comme on sait, en calcinant à une assez haute température la pierre calcaire (carbonate de chaux), composée de 0,56 de chaux et de 0,44 d'acide carbonique quand elle est pure. Sous l'influence de la chaleur, l'acide carbonique se dégage et, d'après une opinion assez généralement admise, la décomposition serait considérablement favorisée par un faible courant de vapeur d'eau.

On emploie presque toujours pour la cuisson de la chaux des fours qu'on peut classer en fours intermittents et en fours continus.

Fours intermittents.

2187. Un four intermittent assez généralement employé pour la fabrication de la chaux sur une petite échelle consiste en un four ovoïde, revêtu intérieurement d'une enveloppe en briques réfractaires. Il est percé d'une porte au niveau de sol. Pour cuire la chaux, on construit à la partie inférieure, avec les pierres calcaires les plus grosses, une voûte; on dispose les autres aussi également que possible, en ayant soin d'employer des pierres de plus en plus petites. Le combustible, qui est le plus souvent du bois en fagots, est jeté sur le sol, sous la voûte, et la combustion est alimentée par l'air qui pénètre par la porte latérale. Au bout de trois ou quatre jours, la cuisson est terminée et on procède au défournement. On laisse refroidir le four et on le recharge ensuite de la même manière.

Il y a par cette méthode une grande perte de chaleur, à la fin de chaque opération, car il est nécessaire de porter à une température élevée les pierres qui se trouvent à la partie supérieure, et pendant ce

temps les gaz s'échappent à peine refroidis. C'est afin de diminuer la durée de cette période qu'on a soin de placer dans le haut les pierres les plus petites.

2188. On ne peut, avec cette disposition, brûler que des fagots ou du bois, et encore la combustion est-elle nécessairement imparfaite, et la consommation de combustible considérable. On pourrait remédier à ces inconvénients en plaçant une grille à la partie inférieure du four, et la figure 577 représente cette modification qui permettrait l'emploi de toute espèce de combustible et produirait un meilleur effet utile.

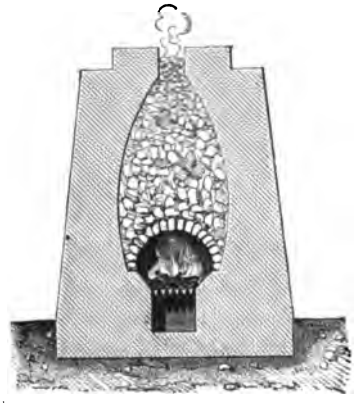


Fig. 577.

Afin d'éviter la perte considérable qui résulte de la haute température des gaz à la sortie, pendant la dernière période, on a construit des fours doubles qui se composent de deux fours ordinaires superposés et séparés par une voûte à claire-voie. On utilisait alors le four supérieur pour la cuisson de la brique ou toute autre opération.

2189. Tous les fours intermittents ont les mêmes vices de principe qui occasionnent des pertes de chaleur impossibles à éviter. La totalité de la chaleur renfermée dans la chaux cuite et dans les gaz qui s'échappent est perdue, et il en est de même de celle qui se trouve dans la masse de maçonnerie, car on est obligé d'attendre, pour procéder à un nouveau chargement, que le four soit refroidi. C'est dans le but d'éviter ces pertes de chaleur, qui ne laissent pas que d'être considérables, que l'on a été conduit à employer des fours continus.

Fours à feu continu.

2190. Les fours continus ou fours coulants peuvent être disposés de deux manières différentes. Dans le premier système, le combustible est mélangé avec la pierre calcaire; dans le second, il est brûlé dans des foyers latéraux.

Les fours du premier système ont en général la forme troncconique, quelquefois cylindrique ou légèrement ovoïde. A la partie inférieure se trouvent un certain nombre d'ouvertures pour le défour-

nement. On ferme le bas du four avec une grille à barreaux mobiles pour qu'on puisse prendre la chaux également sur toute la surface, ce qui rend la descente des charges régulières. La pierre à chaux et le combustible, qui est en général de la houille maigre, des anthracites ou du coke, se chargent par le gueulard, par couches alternatives aussi uniformément que possible, en ayant soin toutefois de ne pas mettre de charbon vers les parois, car c'est dans ces parties que passent surtout les produits de la combustion. Les épaisseurs des couches doivent être déterminées de telle sorte que le combustible soit seulement suffisant pour calciner la couche supérieure de calcaire, et pour que la combustion d'une couche de houille ne commence que lorsque celle de la couche au-dessous est près de finir. La première condition est indispensable pour qu'il ne se brûle pas du charbon inutilement, et la seconde pour éviter la production de l'oxyde de carbone, ou que la chaux ne soit pas trop cuite. Le règlement des couches nécessite donc pour chaque combustible un tâtonnement qui demande à être fait avec intelligence. Dans tous les cas, il est important que la couche de combustible ne soit pas trop épaisse ; on obtient ainsi une cuisson plus égale ; l'épaisseur sera le plus souvent de $0^m,1$ à $0^m,2$; on ne devra jamais dépasser $0^m,3$; il sera bon dans le chargement de prendre soin de placer d'abord sur la couche de combustible les plus gros morceaux de calcaire.

Le défournement de la chaux doit être réglé de manière que la zone de grand feu se trouve environ aux deux tiers de la hauteur à partir du sol. La chaux pendant la descente trouve ainsi le temps de se refroidir à peu près complétement au contact de l'air qui vient alimenter la combustion et il en résulte deux avantages : il y a d'abord économie dans la consommation de combustible et ensuite le travail des ouvriers employés au défournement est rendu beaucoup moins pénible.

2191. L'emploi des fours continus semble au premier abord nécessiter une production régulière de chaux, mais il n'en est pas ainsi. La zone de combustion peut varier dans certaines limites de hauteur sans qu'il en résulte d'excès sensible de consommation. On peut, par exemple, si l'on ne veut pas travailler le dimanche, défourner le samedi une plus grande quantité qu'à l'ordinaire, ce qui fera baisser la zone de combustion ; dans la journée du dimanche elle se relèvera peu à peu, et, si l'on a opéré convenablement, on se retrouvera le lundi dans les conditions normales. Mais, en général, on préfère suspendre le courant d'air le dimanche ; cette suspension

peut même durer plusieurs jours. Elle s'effectue simplement en recouvrant la partie supérieure de cendres de chaux que l'on tasse bien et que l'on arrose d'eau au besoin. L'emploi des portes à la partie inférieure gêne constamment le déchargement, et la fermeture par le bas, fût-elle même parfaitement étanche, n'empêche jamais aussi bien les mouvements d'air à l'intérieur qu'un bouchage bien fait par le haut.

La hauteur des fours varie de 6 mètres à 15 mètres et même 17 mètres. Le plus grand diamètre est environ le tiers de la hauteur.

Dans les fours où l'utilisation est aussi bonne que possible, 1 kilogramme de combustible, anthracite ou coke, peut cuire de 12 à 14 kilogrammes de pierre calcaire.

2192. Les figures 578 et 579 représentent un four à chaux du second système dans lequel le combustible est brûlé dans quatre foyers latéraux. La chaux se retire par quatre ouvertures placées entre les foyers et à quelques mètres plus bas, et on recharge en même temps le four, de manière à ce qu'il soit constamment rempli : par cette disposition, on peut obtenir une bonne combustion et la régler à volonté dans les différentes parties, ce qui est difficile avec les fours à couches alternatives ; l'air brûlé se dissémine assez uniformément dans la masse de pierre à chaux, et si le four a une hauteur suffisante, il pourra se dégager à une température peu élevée ; mais il y aura nécessairement une grande perte de chaleur pendant les défournements par le grand volume d'air froid qui pénètre dans le four pendant que les portes de sortie de la chaux sont ouvertes.

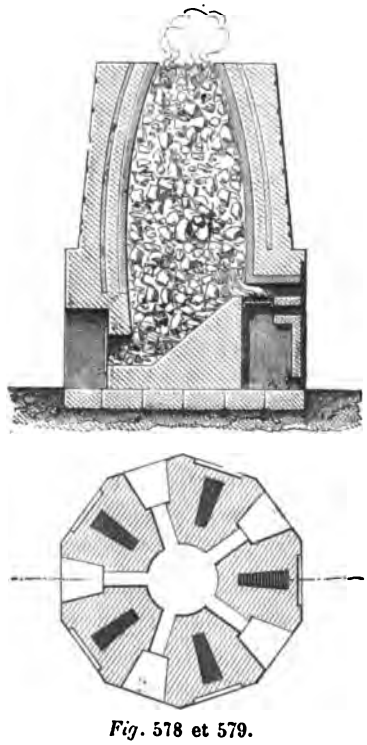


Fig. 578 et 579.

Le four que nous venons de décrire présente l'avantage de permettre l'emploi des combustibles végétaux ou des houilles flambantes, en appropriant le foyer à chaque combustible ; mais la chaux est extraite à la plus haute température qu'elle ait éprouvée, et,

sous le rapport économique aussi bien que sous celui de la facilité du travail, les fours à couches alternatives bien conduits sont préférables.

2193. Tout ce que je viens de dire suppose que le calcaire employé produit des chaux grasses, dont on se sert généralement pour les mortiers ordinaires et pour l'agriculture. Mais quand les pierres à chaux ou les mélanges artificiels sont de nature à produire des chaux hydrauliques ou des ciments, il y a dans la cuisson des conditions particulières à remplir, qui exigent des dispositions spéciales dans les fours, que la nature de cet ouvrage ne me permet pas d'examiner. Je dirai seulement que si la température que doit supporter la matière devait être inférieure à celle qui est nécessaire pour la combustion, on parviendrait facilement à remplir cette condition, en employant des foyers au delà desquels on introduirait de l'air extérieur de manière à abaisser la température de l'air brûlé.

2194. On a utilisé, pour produire la chaux, les gaz des hauts fourneaux, recueillis éteints au gueulard, et on en a obtenu dans ce cas une bien plus grande production en les appliquant à des fours coulants qu'en se servant de la flamme au gueulard. Le four à chaux est établi sur le sol de l'usine et les gaz lui sont donnés vers le tiers de sa hauteur par un certain nombre de jets répartis sur sa circonférence. En contre-bas de ces foyers, la chaux cuite descend dans une capacité d'où on la retire de temps à autre ; l'air qui s'échauffe en passant sur elle sert à l'alimentation des foyers à gaz.

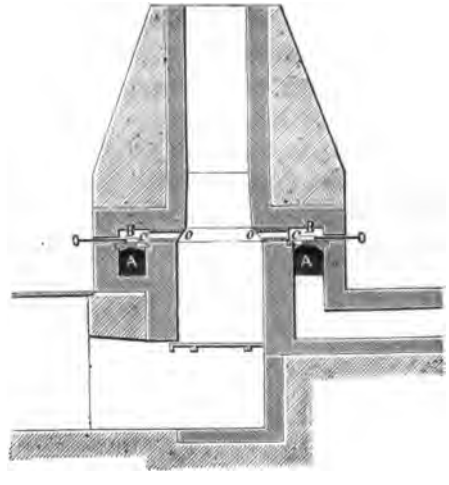


Fig. 580.

La conversion préalable des combustibles en gaz, proposée en France pour les chauffages industriels en 1841, s'applique également à cette fabrication.

2195. MM. Leroy-Desclosages et L. Vigreux, tous deux anciens élèves de l'École centrale, ont utilisé, au moyen de dispositions qui leur sont particulières, la transformation préalable du combustible

en gaz pour la cuisson de la chaux ; leur four est établi à Champigny-sur-Marne. C'est un ancien four coulant ordinaire qu'on a modifié pour l'usage nouveau auquel il devait servir ; il est représenté fig. 580. Les gaz, obtenus au moyen du coke dans un gazogène ordinaire, arrivent dans une galerie circulaire A qui règne autour de la chemise du four. Cette galerie est surmontée d'un nombre de compartiments B isolés les uns des autres dans lesquels l'arrivée des gaz est réglée par des registres horizontaux C. De chaque compartiment, un ou plusieurs orifices rectangulaires verticaux O distribuent ce gaz dans l'intérieur du four, où il brûle au sein de la pierre à cuire vers le tiers de la hauteur du four.

Le chargement et le déchargement du four se font à la manière ordinaire ; l'air nécessaire à la combustion du gaz entre par la fournaise (ouverture de défournement) et monte dans l'intérieur du four en traversant la chaux cuite qu'il refroidit.

Les gaz fournis par le gazogène avaient la composition suivante en volume:

Oxyde de carbone.....	28,50
Oxygène.....	0,50
Acide carbonique.....	2,50
Azote (par différence).....	68,50
	100,00

Les analyses ont été faites au moyen de l'appareil Orsat, muni de trois cloches, ce qui permet de doser directement l'oxyde de carbone sans avoir recours aux tables de M. Fichet; on employait, pour absorber ce gaz, le sous-chlorure de cuivre dissous dans l'acide chlorhydrique ; l'absorption dans ce réactif est instantanée ; les analyses ont été faites par M. Lorin, préparateur de chimie à l'École centrale.

Les analyses faites sur les gaz sortant du gueulard du four n'ont fourni aucune trace d'oxyde de carbone.

La pression du gaz dans le gazogène, en arrière du combustible, est mesurée au moyen d'un manomètre à eau, à branche très-inclinée du système de Péclet ; cette pression varie d'un demi à 1 millimètre d'eau. Quand le chaufournier, en consultant ce manomètre, s'aperçoit que la pression est nulle, il ringarde un peu la grille du gazogène.

Dans la galerie circulaire A et dans le cône de combustion du four, la pression du gaz varie de 0,2 à 0,4 de millimètre.

Le coke employé dans le gazogène est concassé en morceaux de $0^m,04$ à $0^m,06$ de côté, la couche de combustible a $1^m,20$ d'épaisseur.

La température à l'intérieur du four, dans la zone de combustion, variait de 1100 à 1200°; elle a été mesurée au moyen d'un calorimètre à eau et d'un témoin en fer doux.

La haute température obtenue dans ce four et surtout la permanence de cette température dans la même zone obligent à faire, au moins dans toute la hauteur de cette zone, la chemise intérieure du four en pierre calcaire; c'est d'ailleurs ce qui s'était fait il y a trente ans pour les fours à chaux dans lesquels on utilisait les gaz des hauts fourneaux; c'est ce qui se pratique aussi en Belgique où on fait de nombreux fours à chaux construits entièrement en pierre calcaire, sans chemise intérieure en briques réfractaires. Ce mode de construction évite les *collages* ou les rend beaucoup moins fréquents; le seul inconvénient qu'il présente, c'est que l'intérieur de la chemise se pulvérise par l'action de l'air extérieur, quand le four est éteint et vidé pour le réparer; mais la réparation de la chemise est peu coûteuse et on préfère, en Belgique, les chemises en calcaire à tous les autres matériaux.

Les modifications que nous avons décrites ont produit les résultats suivants : le four, dans son ancien état, ne produisait que 4^{mc} de chaux en vingt-quatre heures; la production a été portée à 8^{mc} dans le même temps; la chaux était parfaitement cuite, très-blanche et exempte des impuretés qui la souillent toujours dans la méthode ordinaire de cuisson; elle est plus caustique, foisonne plus rapidement et exige plus d'eau pour s'éteindre que la chaux cuite par le procédé ordinaire; enfin l'économie de combustible réalisée s'est élevée en nombre rond à 40 pour 100.

CHAPITRE III

Fours à plâtre.

2196. La cuisson du plâtre a pour objet, comme on sait, d'enlever à la pierre à plâtre l'eau de cristallisation qu'elle renferme, et de lui donner, par suite, la propriété de prendre plus ou moins de solidité lorsqu'il est mêlé avec de l'eau. On cuit ordinairement le plâtre dans des fours qui ont beaucoup d'analogie avec les fours à chaux intermittents; seulement le four est rectangulaire et les gros

blocs sont arrangés de manière à former une série de voûtes qui s'appuient les unes sur les autres ; on forme en avant un mur avec les mêmes matériaux, et on remplit de morceaux menus l'intervalle qui se trouve entre les trois murs permanents du four et celui dont nous venons de parler. Les espaces terminés supérieurement par les voûtes servent de foyers, et on y brûle des branchages et du bois menu ; un grand excès d'air pénètre nécessairement par l'ouverture libre du foyer. Les blocs qui forment les voûtes étant soumis à une température trop élevée, sont altérés, du moins jusqu'à une profondeur de quelques centimètres, et ne produisent que de mauvais plâtre.

2197. Les pierres à plâtre renferment au plus 0,20 d'eau qu'il faut enlever par la chaleur. La capacité calorifique du plâtre étant de 0,196, la quantité de chaleur employée, en supposant que la vapeur et le plâtre soient chauffés à 200°, serait, pour obtenir $0^k,8$ de plâtre cuit, égale à $637 \times 0,2 + 0,475 \times 0,2 \times 100 + 0,8 \times 00 \times 20,196 = 168^c,26$; par conséquent, pour obtenir 100 kilogrammes de plâtre, il faudrait $\frac{168,26 . 100}{0,8} = 21030^c$, à peu près 7 kilogrammes de bois ordinaire, en supposant qu'il n'y ait pas de chaleur perdue. D'après quelques informations, la quantité de bois brûlé par mètre cube de plâtre varie de 210 à 135 kilogrammes. Le poids du mètre cube de plâtre étant de 1,500 à 1,600 kilogrammes, pour en calciner 100 kilogrammes, il faudrait de 14 à 9 kilogrammes de bois. Ce dernier nombre se rapproche assez de celui qui est indiqué par le calcul.

2198. On a cherché dans ces dernières années à se servir de la houille comme combustible ; on a modifié pour cela les fours que nous venons de décrire en construisant, à la partie inférieure, des foyers à grilles surmontés de voûtes en maçonnerie, qui supportent la pierre à plâtre. Ces voûtes sont percées d'orifices destinés à répartir aussi également que possible la chaleur dans toute la masse. La figure 581 représente une de ces dispositions.

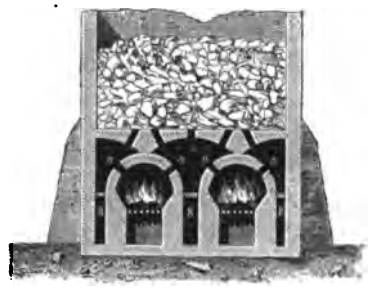


Fig. 581.

Les foyers, qu'on peut disposer pour brûler tous les divers combustibles minéraux, sont surmontés d'une voûte dans laquelle sont percés des orifices *a, a* de dégagement de l'air brûlé ; B, B, B, larges

espaces communiquant avec l'extérieur et par lesquels s'introduit l'air pour abaisser la température des gaz au degré convenable ; *b*, *b*, orifices par lesquels le mélange d'air brûlé et d'air pur pénètre dans le four.

2199. La conduite du foyer demande à être faite avec soin ; il faut maintenir le feu toujours clair et brillant, afin d'éviter toute trace de fumée, qui altérerait la qualité du plâtre ; on peut, dans ce but, introduire un grand excès d'air, qui dans le cas qui nous occupe n'est pas un inconvénient, puisqu'il faut abaisser la température des gaz sortant du foyer.

2200. Pour produire un mélange plus intime et une combustion plus complète, on se sert aussi de ventilateurs dont l'emploi a bien réussi dans une grande usine qui fabrique du plâtre pour la consommation de Paris. Pour empêcher les houilles qui colleraient ou qui produiraient du mâchefer, de s'agglomérer sur la grille, on a dans la même usine un appareil spécial placé dans le cendrier. Il se compose de tiges de fer fixées sur une même traverse mobile autour d'un axe ; en appuyant sur un levier, les tiges se relèvent, viennent passer dans les intervalles des barreaux et fourgonnent ainsi simultanément sur toute la surface de la grille.

L'emploi de la houille présente de grands avantages sur celui du bois ; il est d'abord considérablement plus économique, et il dispense en outre des approvisionnements de bois qui présentent toujours des chances d'incendie.

Appareils particuliers employés à la cuisson du plâtre.

2201. Les fours que nous venons de décrire sont les appareils le plus généralement employés pour la fabrication du plâtre ; mais il en est d'autres qui ont été essayés ou qui sont appliqués dans des cas particuliers et dont nous venons de dire quelques mots.

2202. M. Violette a essayé, il y a quelques années, de cuire le plâtre ordinaire en employant la vapeur surchauffée à 200°, qu'il faisait passer successivement dans deux fours de forme ovoïde. Ce n'est pas évidemment le cas de faire usage de ce véhicule de chaleur, du moment que l'opération permet sans le moindre inconvénient des moyens beaucoup plus simples et moins coûteux d'installation. Toutefois, comme la vapeur surchauffée procure une température parfaitement régulière et ne donne pas la plus légère coloration,

peut-être pourrait-elle servir pour cuire des albâtres destinés à faire du plâtre de moulage de qualité tout à fait supérieure.

2203. Le menu des mines de plâtre ne peut évidemment être calciné dans les fours que nous avons étudiés ; pendant longtemps il est resté à peu près sans emploi. Dans ces dernières années MM. Arson et Bellanger ont réussi à en opérer la cuisson ; ils se sont servi d'un cylindre horizontal en tôle, mobile autour de son axe et chauffé extérieurement. Ce cylindre, garni intérieurement de nervures héliçoïdales, est placé dans un canal en briques, ayant un foyer à une extrémité et une cheminée à l'autre. Il tourne uniformément et reçoit le plâtre en poudre d'un côté, pour le rejeter calciné à l'autre bout. C'est évidemment de ce dernier côté que les foyers doivent être placés afin que la fumée et le plâtre circulent en sens contraire. Nous avons déjà parlé de ce genre d'appareil à propos de la torréfaction du tabac.

2204. Dans quelques cas particuliers, où l'on a le débit du coke, on a cuit le plâtre par la chaleur perdue des fours à coke. Ceux-ci sont disposés comme à l'ordinaire, mais les gaz qui s'en échappent se rendent dans un espace voûté, situé au-dessus, où ils se mélangent avec une certaine quantité d'air extérieur avant de pénétrer dans le four à plâtre par un grand nombre d'orifices pratiqués dans la voûte. Deux cheminées communiquant avec cet espace voûté sont destinées à évacuer directement les gaz, pendant le chargement et le déchargement du plâtre.

2205. Pour compléter ce qui est relatif à l'industrie importante de la fabrication du plâtre, voici quelques indications sur une disposition proposée en 1845 par M. Peronnet, de Grenoble. D'après son brevet, l'appareil se compose de deux fours adjacents, rectangulaires, ayant à la partie inférieure la forme d'une trémie, et terminés par un canal incliné destiné au défournement et par un tuyau communiquant avec une cheminée ; à la partie supérieure de chaque four se trouve une large trémie renfermant la charge de pierre à plâtre ; elle est maintenue fermée par une couche de plâtre cru, comprimée à sa partie inférieure. Entre les deux fours est placé un foyer dont l'air brûlé peut s'élever à la partie supérieure de l'un ou de l'autre. Lorsque le plâtre qui se trouve dans la trémie inférieure de l'un des fours est cuit, on fait passer l'air brûlé soit dans l'autre four, soit directement dans la cheminée, et on défourne jusqu'à ce que le plâtre de la trémie supérieure se soit écoulé en totalité ; on ferme alors l'orifice de défournement, la partie inférieure de la

trémie par du plâtre menu et tassé, et on fait arriver de nouveau l'air brûlé à la partie supérieure.

Nous ne savons si cette disposition a été essayée et quels en ont été les résultats; mais elle nous paraît présenter l'avantage de faire marcher dans le four l'air brûlé en descendant.

M. Vigreux est en voie d'appliquer la transformation préalable des combustibles en gaz à la cuisson du plâtre; nous manquons de renseignements sur les résultats obtenus.

CHAPITRE IV

Fours à briques et à poteries.

2206. On cuit souvent, notamment en Belgique et dans le nord de la France, les briques de qualité inférieure, en formant avec les briques crues des grands massifs rectangulaires dans lesquels on ménage des espèces de cheminées verticales. Le combustible est disposé entre les briques à cuire, et l'air brûlé s'échappe par des orifices placés à la surface extérieure du massif, et qu'on règle de manière à répartir la chaleur le plus uniformément possible. Ce système est certainement économique sous le rapport des frais d'installation; mais la conduite du feu est difficile : les vents et la pluie exercent une grande influence, et on a beaucoup de déchets.

Toutes les fois que les briques doivent être cuites régulièrement, sans risquer d'être altérées dans leur forme, on doit avoir recours à des fours. Les fours les plus simples se composent de foyers surmontés de voûtes à jour, et établis directement au-dessous de grandes chambres circulaires ou rectangulaires, abrités de la pluie par une toiture ordinaire placée à une hauteur suffisante pour ne pas être détruite par la chaleur : les briques sont rangées au-dessus des voûtes du foyer de manière à répartir l'air brûlé aussi uniformément que possible à travers leur masse. Le tirage s'effectue naturellement par la haute température des gaz.

Quelquefois les fours sont recouverts d'une voûte percée sur toute sa surface d'orifices qui communiquent avec un canal aboutissant à une cheminée. On peut alors disposer des séchoirs au-dessus des chambres de cuisson et utiliser ainsi une partie de la chaleur perdue.

2207. Les fours à briques varient beaucoup de forme et de disposition, suivant les pays et la nature de la marchandise. Quelle que soit la disposition adoptée, la cuisson s'opère toujours à peu près de la même manière. Quand le chargement est effectué, on mure la porte d'entrée et on commence par faire un feu très-doux; on élève progressivement la température jusqu'au grand feu, que l'on maintient jusqu'à cuisson complète. On laisse ensuite refroidir lentement, jusqu'à ce qu'on puisse pénétrer dans l'intérieur pour enlever les briques cuites et faire un nouveau chargement.

2208. Avec les fours que nous venons de décrire, on perd complétement la chaleur renfermée dans les briques cuites, et une partie de celle que contiennent les gaz. Néanmoins, ils sont les seuls applicables dans les petites industries et ils sont employés avec succès par des tuiliers intelligents. Quelquefois le four à briques est placé à la suite d'un four à chaux, dont il utilise la chaleur perdue; d'autres fois on place à la partie supérieure des tuyaux de drainage et des tuiles qui, cuisant plus rapidement, permettent de diminuer la durée du grand feu. Dans chaque cas particulier, on peut en général trouver le moyen de réduire les frais dans une proportion notable.

2209. Lorsque la fabrication des briques doit s'effectuer sur une grande échelle, on peut employer plusieurs dispositions pour utiliser la chaleur des briques cuites et les gaz de la combustion; j'ai indiqué la suivante, il y a bien des années, dans mon cours à l'École centrale.

Imaginons un certain nombre de fours, six par exemple, rangés circulairement autour d'une cheminée; supposons que chaque four ait un foyer et une cheminée débouchant à la partie supérieure du four, que chacun puisse communiquer de sa partie inférieure avec la partie supérieure du suivant par une autre cheminée pratiquée dans l'épaisseur des murs de séparation, et enfin par sa partie inférieure avec la grande cheminée, toutes les ouvertures étant pourvues de registres en fonte ou en briques placés dans des cadres de fer. Représentons ces fours par les lettres A, B, C, D, E, F, et supposons que, les trois premiers étant remplis de briques crues, on allume le foyer de A, en faisant communiquer le bas du four avec la cheminée; les briques s'échaufferont progressivement. Lorsque celles du bas du four commenceront à s'échauffer, on fera passer l'air brûlé de haut en bas à travers le four B, et puis enfin, un certain temps après, à travers le four C. Lorsque les briques de A seront cuites, on éteindra le foyer de A, on allumera le foyer de B, et on

fera passer l'air brûlé dans la cheminée successivement par la partie inférieure des fours B, C, D. En même temps qu'on allumera le foyer de B, on fera passer de l'air extérieur à travers le four A de bas en haut pour refroidir les briques cuites, air qui se réunira au sommet du four B à l'air brûlé du foyer pour parcourir de haut en bas les fours B, C, D. On pourrait aussi utiliser la chaleur des briques cuites en faisant arriver l'air chaud sous le cendrier pour servir à la combustion ; mais cette disposition présenterait peut-être des inconvénients. Le nombre des fours, la durée des opérations, celle du refroidissement de chaque four, celle du chargement et du déchargement devront être déterminées de manière qu'il n'y ait jamais d'interruption dans la marche des opérations, et que, quand on allumera le foyer F, les fours A et B soient remplis de briques crues. Par ce système d'opération, on utilise presque toute la chaleur produite dans les foyers, et on peut placer dans les fours des briques moins sèches que lorsqu'on suit les méthodes ordinaires, attendu que, dans chaque four, les briques sont traversées par des courants d'air chaud dont la température croît très-lentement. Il serait possible qu'il y eût de l'avantage, après avoir éteint le foyer de A, à faire traverser ce four par un courant d'air extérieur qui refroidirait les briques qui s'y trouvent, et transmettrait cette chaleur aux suivants, avant d'allumer le foyer de B. Il est important de remarquer qu'à toutes les périodes de ce mode d'opération le tirage a toujours lieu par une série de cheminées dans lesquelles l'air chaud marche d'abord de bas en haut, et ensuite successivement de haut en bas et de bas en haut, avec des températures décroissantes, et, par conséquent, que le tirage peut être toujours suffisant, si les sections sont convenables ; la résistance provenant du frottement à travers les briques dans les mouvements de haut en bas sera faible, parce que la vitesse sera très-petite, l'air étant uniformément réparti dans toute la section. Ce mode de fabrication a commencé à être mis en pratique, vers 1840, par un ingénieur sorti de l'École centrale ; plus tard, il a été appliqué avec des perfectionnements par M. Muller, ancien élève de la même école, qui a créé dans ce système une usine considérable aux portes de Paris.

2210. On retrouve une intelligente application de ce système de four continu à briques avec utilisation complète de la chaleur dans le four annulaire Hoffmann, qui est très-répandu en Allemagne principalement (*Annales des mines*, 6e série, tome XX).

Ce four consiste en un canal annulaire que l'on remplit des briques

à cuire. Celles-ci sont divisées en groupes, par exemple, en douze groupes de 50^{mc} chacun pour un four de 40 mètres de diamètre extérieur. Au centre, et entourée d'un carneau circulaire destiné à recueillir successivement l'air brûlé de chacun des groupes, s'élève une cheminée de tirage d'environ 50 mètres de hauteur. Les briques sont rangées dans chaque groupe de manière à y ménager un certain nombre de cheminées de 0^{m},15 environ de côté, dans lesquelles le combustible sera brûlé ; mais on ne charge à la fois que les cheminées d'un groupe et on n'entretient la combustion que dans ce groupe pendant le temps nécessaire pour y produire l'effet du *grand feu ;* les gaz brûlés provenant de ce groupe parcourent successivement les autres groupes où ils commencent la cuisson et finissent la dessiccation complète des autres charges de briques. Des registres permettent d'interrompre cette circulation et de l'arrêter au groupe cuit que l'on prépare au défournement ; alors on porte le feu dans le groupe suivant pour continuer ainsi en faisant le tour du four. Comme chaque groupe a son carneau muni d'un registre pour aboutir à la cheminée de tirage, on ouvre le registre du groupe auquel on veut arrêter le circuit, tous les autres registres semblables étant fermés.

Dans le groupe en *grand feu*, la combustion est alimentée par de l'air qui s'est échauffé en passant par les briques déjà cuites des groupes voisins ; on hâte ainsi le refroidissement de ces groupes et par suite leur défournement.

Ce modèle de four, qui date d'une vingtaine d'années, est appliqué pour de grandes productions de briques ordinaires, de briques réfractaires et de poteries ornementales. Il sert aussi pour la cuisson de la chaux avec quelques modifications dans sa construction, nécessitées par la nature de la matière et par le tassement qu'elle subit après la cuisson.

2211. M. Barbier avait déjà présenté à l'exposition universelle de 1855 un modèle et des dessins d'un système de four pour la cuisson des briques et des tuyaux de drainage qui présente aussi une application des mêmes principes. Cet appareil se compose d'un canal rectangulaire de 20 mètres de longueur sur 13 mètres de largeur, formant un circuit horizontal destiné à recevoir les briques et les tuyaux à cuire : ce canal est environné d'un autre, d'une plus petite section, qui conduit l'air brûlé, plus ou moins refroidi, d'un point quelconque du premier canal à une des deux cheminées qui se trouvent dans les milieux des deux longs côtés du circuit. Un foyer mo-

bile sur un chemin de fer peut être amené devant des ouvertures pratiquées sur les faces verticales internes du canal constituant le four, et fermées par des registres quand le foyer est retiré ; d'autres ouvertures sont destinées à l'enfournement et au défournement ; des registres convenablement placés permettent de faire parcourir à l'air brûlé un certain chemin avant de l'abandonner dans l'une des deux cheminées, et d'appeler de l'air extérieur qui s'échauffe en traversant les briques cuites et chaudes pour passer ensuite à travers les briques qui viennent d'être enfournées. La figure 582 représente une coupe verticale de cette disposition de l'appareil ; A foyer mo-

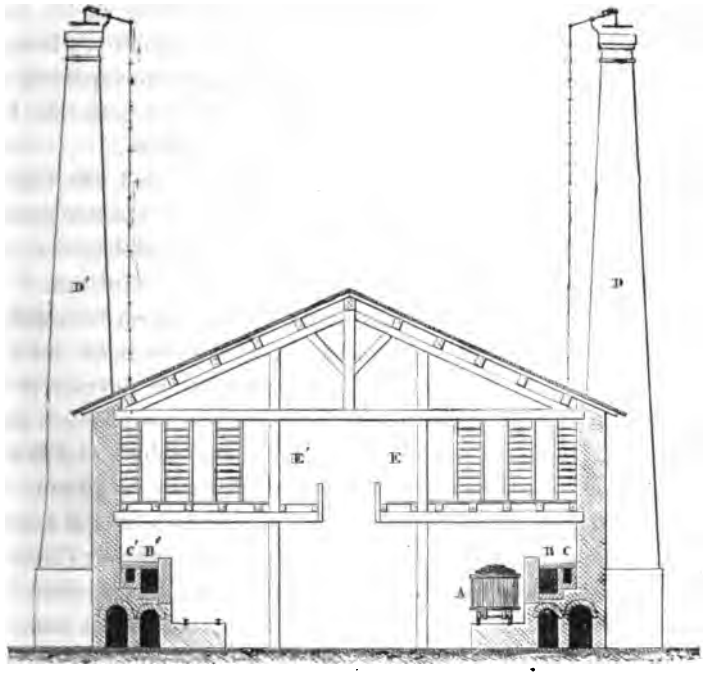


Fig. 582.

bile ; B, B' four ; C, C' canal de ceinture qui conduit l'air brûlé aux cheminées ; D, D' cheminées ; E, E' séchoir. Ce four, qui n'a été essayé que sur une petite échelle, occupe beaucoup d'espace et doit être d'un service peu commode. La manœuvre du foyer mobile, qui se trouve nécessairement à une température très-élevée, doit présenter en outre de sérieuses difficultés.

2212. On a imaginé un système de four qui réalise d'une autre fa-

çon le principe d'utilisation de toutes les chaleurs. Il se compose d'un canal en maçonnerie, légèrement incliné, dans l'intérieur duquel roulent sur un chemin de fer des wagons chargés de briques ou de tuyaux à cuire. Le foyer, qui se trouve placé latéralement au tiers environ de la longueur, est alimenté par l'air qui a refroidi les briques cuites placées dans le premier tiers du canal; les produits de la combustion chauffent les briques qui se trouvent dans les deux autres tiers avant de se rendre à la cheminée qui produit l'appel. Un système de doubles portes placées aux extrémités permet d'introduire ou de retirer les wagons sans que l'accès de l'air extérieur ou la sortie des gaz puisse se faire. Malgré toutes les précautions prises, le matériel exige nécessairement des soins continuels et un entretien coûteux. De plus, les gaz brûlés ne sont pas employés le mieux possible dans un canal, où, latéralement et à sa partie supérieure, se trouvent nécessairement des espaces vides. Enfin, ce genre de fours offre au refroidissement extérieur une surface énorme.

Tous ces fours continus ne peuvent s'appliquer qu'à des fabrications considérables ; les petites industries sont nécessaires pour les campagnes, et d'ailleurs, dirigées par des gens intelligents, elles peuvent, comme nous l'avons dit, donner de bons résultats.

2213. *Fours à porcelaine.*—Ces fours sont à deux ou trois étages, que l'air brûlé parcourt successivement de bas en haut; les deux premiers donnent ce qu'on appelle le grand feu, le dernier le dégourdi. Le four est chauffé par quatre ou six foyers extérieurs qu'on désigne sous le nom d'*alandiers*. Ces foyers sont à bois et à flamme renversée; ils se composent d'un espace rectangulaire terminé à la partie inférieure par une grille, où l'on place le bois, et qui communique avec le four par un grand nombre de petits orifices ; l'air extérieur entre dans le foyer par la partie supérieure de l'alandier. Les étages étant remplis de pièces de porcelaine renfermées dans des vases en terre réfractaire appelées *gazettes*, on commence la cuite par le *petit feu*, qui consiste à brûler des bûches un peu grosses placées au fond de l'alandier ; ce chauffage conduit avec gradation dure de seize à vingt heures. Lorsque le four est convenablement échauffé, on commence le grand feu en remplissant les alandiers de bois refendu. Pendant toute la durée du chauffage, les gaz brûlés passent des alandiers dans le premier four, du premier dans le second par les orifices percés dans la voûte, et de ce dernier dans l'air par une ouverture garnie d'un registre qui permet de régler le tirage. La seconde période de chauffage dure de dix à douze heures. Depuis

quelques années, la substitution de la houille au bois a produit une économie de plus de moitié dans la dépense de combustible; les foyers à bois sont remplacés par des foyers à houille qu'il est nécessaire de rapprocher davantage autour du four; dès l'abord on ne put employer la houille pour la porcelaine très-fine, qui sous son influence prenait une teinte jaune; actuellement on emploie la houille dans tous les cas, ou à peu près.

2214. Cette disposition de four, qui est très-ancienne, est très-peu favorable à l'uniformité de la distribution de la chaleur dans les fours, parce que l'air chaud tend à s'élever par les chemins les plus courts et de moindre résistance; et par suite elle est peu favorable à l'économie du combustible. Il faudrait évidemment, d'après ce que nous avons dit précédemment, que l'air chaud cheminât de haut en bas dans chaque four. Le problème n'est pas encore résolu, et il est probable que sa solution complète se trouve dans l'emploi des foyers à gaz.

2215. M. Booth, de Londres, a pris, en 1849, un brevet d'invention pour un four à poteries, disposé d'une autre manière. Le foyer est au-dessous du four, et l'air brûlé s'élève à sa partie supérieure par une cheminée centrale, ouverte en dessus et percée latéralement d'un grand nombre d'orifices; l'air chaud s'écoule par de petites cheminées qui s'ouvrent à la partie inférieure du four; un peu au-dessus de la grille se trouvent des tuyaux d'admission de l'air extérieur dont on fait varier l'ouverture pour régler la température de l'air brûlé. Cette disposition est bonne en principe, mais il est inutile que la cheminée d'admission de l'air brûlé dans le four soit percée latéralement, et il faudrait placer à la suite, ou en dessus, plusieurs autres fours dans lesquels l'air brûlé marcherait de haut en bas avant de se rendre dans la cheminée extérieure, afin d'utiliser une grande partie de la chaleur.

CHAPITRE V

Chauffage des corps solides par la vapeur surchauffée.

2216. Une des difficultés du chauffage des corps solides est de faire pénétrer la chaleur au milieu de ces corps ordinairement en fragments. Pour la chaux, le plâtre, et quelques autres corps qui ne sont pas altérés par la fumée, on a effectué ce chauffage avec succès,

comme nous l'avons vu, en faisant passer l'air brûlé au milieu d'eux ; mais quand les opérations sont délicates et exigent des températures sensiblement constantes, et aussi quand on veut recueillir certains produits résultant du chauffage, on ne peut plus se servir de foyers directs ; l'air brûlé exigerait d'ailleurs une force motrice assez considérable pour traverser des matières très-divisées, comme le noir animal, par exemple. La vapeur surchauffée peut dans ces cas-là rendre de véritables services.

2217. Si de la vapeur d'eau s'écoule d'un générateur par un tube environné d'air brûlé sortant d'un foyer, il est possible de lui donner une haute température, sans changer sensiblement sa tension. Cette vapeur peut alors être employée avec avantage pour chauffer certains corps, et plus spécialement les corps solides, à cause de la grande capacité calorifique de la vapeur d'eau, et surtout parce que, ne renfermant point d'oxygène libre, elle n'exerce aucune des actions chimiques que produirait l'air chaud, même quand il a servi à la combustion, attendu qu'il n'est jamais alors entièrement dépouillé d'oxygène.

2218. Ce mode de chauffage, imaginé par MM. Laurens et Thomas, a reçu d'assez nombreuses applications dans diverses industries.

Après avoir, dès l'origine, employé, pour surchauffer la vapeur, des serpentins en tuyaux de fer étiré, ces ingénieurs adoptèrent un appareil en fonte qui a l'avantage de présenter une plus longue durée. Cet appareil se compose d'une série de tuyaux droits en fonte, réunis entre eux par des coudes en fer, tenus à l'abri du contact de l'air brûlé; dans chacun de ces tuyaux est placé un noyau plein qui constitue un espace annulaire d'une faible largeur que doit parcourir la vapeur à surchauffer. Plusieurs tuyaux sont placés les uns à côté des autres dans un compartiment de four en forme de réverbère, et plusieurs étages de ces compartiments sont établis les uns au-dessus des autres, les tuyaux des différents étages communiquant entre eux. Sous le compartiment du bas se trouve le foyer, et l'air brûlé redescend du compartiment supérieur vers le sol par une gaîne qui le conduit à la cheminée. Le nombre de ces compartiments, ainsi que celui des tuyaux, varie suivant l'importance de l'appareil. La vapeur circule dans les tuyaux en sens inverse de l'air brûlé.

La température de la vapeur surchauffée à son entrée dans le récipient qui contient la matière à traiter est ordinairement celle de la fusion du plomb ; sa force élastique n'a pas besoin d'être élevée ; il suffit qu'elle soit de une atmosphère et un quart pour qu'elle

puisse traverser une masse de matière assez compacte, telle que du noir en grains, sur une épaisseur de 3 à 4 mètres.

Dans les chauffages à vapeur de certains appareils pour lesquels il faudrait employer, afin d'obtenir la température nécessaire, de la vapeur à 5 ou 6 atmosphères, on obtient les températures voulues en employant de la vapeur surchauffée au point convenable, tout en la maintenant sous une faible pression ; comme la vapeur réclame déjà pour sa formation une quantité notable de combustible, il importe de l'employer après son suréchauffement dans plusieurs récipients successifs à températures décroissantes, ou bien de l'utiliser pour des chauffages accessoires qui n'exigent que des températures modérées.

2219. Pour calculer la surface nécessaire au surchauffage de la vapeur, on se sert des données relatives au chauffage de l'air à la même température, en augmentant les surfaces en raison de la différence qui existe entre la chaleur spécifique de l'air et celle de la vapeur ; si l'on avait affaire à de la vapeur contenant de l'eau entraînée, il conviendrait de l'en purger d'abord, autrement une partie du surchauffeur devrait être employée à compléter la vaporisation, ce qui exigerait une augmentation de la surface de chauffe.

2220. Enfin, pour certaines matières qui ne craignent pas le contact de l'acide carbonique, un appareil plus récent de MM. Thomas et Laurens effectue le surchauffage de la vapeur en l'injectant dans un foyer clos spécial, disposé pour la réunir aux produits mêmes de la combustion. Par ce procédé on parvient à donner à la vapeur une température beaucoup plus élevée que celle qu'il est possible d'atteindre à l'aide de serpentins en fer ou en fonte.

2221. Le traitement par la vapeur surchauffée peut avoir aussi pour objet la fabrication de certains produits susceptibles d'être entraînés par son passage : dans ce cas, il faut recourir à divers modes de condensation. Telle est la distillation des schistes bitumineux, dont on retire l'huile minérale ; tel est aussi le traitement des matières grasses destinées à la fabrication des bougies, lequel a donné lieu à une modification importante de cette industrie. Telle est aussi la fabrication de certains hydrocarbures dont les usages ont pris un si grand développement : dans cette dernière industrie, la vapeur a été surchauffée par l'intermédiaire d'un bain de plomb.

CHAPITRE VI

Chauffage des corps solides à des températures élevées et utilisation des chaleurs perdues.

2222. Dans certaines industries, et principalement dans la métallurgie, il faut chauffer des corps solides à des températures très-élevées. Les fours à puddler, à réchauffer et les hauts fourneaux remplissent ce but. Dans tous ces appareils, on n'utilise qu'une faible partie de la chaleur que produit le combustible, soit que les gaz s'échappent à une haute température, comme dans les fours à puddler et à réchauffer, soit que, par la nature même des foyers, le combustible ne cède pour l'opération principale que la portion de chaleur résultant de la formation de l'oxyde de carbone, comme dans les hauts fourneaux. Nous allons d'abord résumer les moyens de produire des températures très-élevées, et ensuite passer en revue les appareils imaginés pour l'utilisation des chaleurs perdues.

2223. *Moyens de produire une température très-élevée.* — La température obtenue par la combustion augmente très-rapidement à mesure que le volume d'air qui échappe à la combustion est plus faible, parce qu'alors la chaleur produite, qui est toujours la même, se répartit dans une plus petite masse et par suite lui donne une température plus élevée; mais, comme nous l'avons vu (nos 282 et suivants), la dissociation réduit considérablement la température qu'on peut obtenir et cela dans une proportion d'autant plus grande que cette température est elle-même plus élevée. Quoi qu'il en soit, les plus hautes températures qu'on puisse obtenir par la combustion dans l'air seront obtenues quand l'air brûlé ne contiendra pas d'oxygène; dans ce cas la température produite s'approche de 2000° pour les houilles et le coke; avec l'hydrogène on n'obtiendrait guère plus de 1500°.

2224. La transformation du combustible en gaz dans les gazogènes et leur échauffement préalable ainsi que celui de l'air de la combustion au moyen du régénérateur Siemens et autres (1918 et suivants) ont permis d'obtenir des températures plus élevées que les précédentes : en effet, d'après M. Bunsen, les conditions de la dissociation restent à peu près les mêmes pour des températures comprises entre 1200 et 2400° pour l'eau (290) et entre 1146° et 2471° pour l'acide carbonique (291); il semble donc résulter de là qu'avec un échauffement

préalable et suffisant des gaz et de l'air on pouvait atteindre dans les appareils de combustion à l'air libre des températures voisines de 2400° (297); au delà de cette température les conditions de la dissociation changent de telle façon que le combustible éprouve une combustion beaucoup moins complète, et la surélévation de température qu'on obtient par la combustion devient beaucoup moindre.

2225. Nous avons dit (300) quelle influence la pression peut exercer sur la température de combustion; il semble difficile, dans l'état actuel des procédés industriels, d'admettre la possibilité de maintenir de grandes capacités portées à une température très-élevée sous de fortes pressions.

2226. L'emploi de l'oxygène pur pour la combustion serait encore et surtout un moyen d'élever la température. Nous pouvons par des calculs fort simples et en nous appuyant sur les résultats des expériences de M. Bunsen (285), arriver à une détermination approximative des températures qui peuvent être obtenues ainsi.

2227. Considérons d'abord le cas de l'hydrogène. M. Bunsen a trouvé que la combustion en vase clos d'un mélange en proportions exactes d'hydrogène et d'oxygène fournit une température de 2854° et qu'il brûle le tiers seulement du gaz combustible; c'est-à-dire que le mélange au moment de la combustion présente en volume la composition suivante :

Oxygène	1 volume.
Hydrogène	2 volumes.
Vapeur d'eau	1 volume.

Ce qui fournit pour les produits de la combustion d'un kilogramme d'hydrogène :

Oxygène	$5^{kil},33$
Hydrogène	0 ,67
Vapeur d'eau	3

En supposant les mêmes conditions de dissociation sous pression constante, c'est-à-dire à l'air libre, on aura, pour calculer la température de combustion, l'équation suivante (290) :

$$t(5,33 \times 0,218 + 0,67 \times 3,404 + 3,00 \times 0,475) = 0,33 \times 29000;$$
$$\text{d'où} \qquad t = 2003°.$$

Cette valeur, évidemment trop faible, nous prouve que nous avons

supposé une dissociation trop considérable de l'eau; si nous prenons l'hypothèse de la dissociation qui se produit pour les températures voisines de 2000° quand la combustion a lieu en vase clos, l'équation qui fournira la température sera celle du n° 290 dans lequel il suffira de retrancher dans le premier membre le terme relatif à l'azote, et on trouvera ainsi $t = 3077°$. Cette température est évidemment trop forte eu égard à la fraction de dissociation adoptée. L'expérience est d'accord avec ces conclusions, puisque M. Sainte-Claire-Deville a trouvé que la température est dans ces cas de 2500° environ. Si l'on supposait un état de dissociation intermédiaire fournissant pour la composition des gaz de la combustion :

Oxygène	1 volume.
Hydrogène	2 volumes.
Vapeur d'eau	1,5.

la température calculée serait de 2614° et se rapprocherait sensiblement de celle de l'expérience.

2228. Si, maintenant, nous considérons le cas du carbone, nous savons qu'un mélange détonant d'oxyde de carbone et d'oxygène, à proportions exactes, fournit une température maxima de 3033° en brûlant en vase clos (285) et que la composition du mélange est en volume :

Oxygène	1 volume.
Oxyde de carbone	2 volumes.
Acide carbonique	1 volume.

En supposant que dans la combustion du carbone pur dans l'oxygène les conditions de la dissociation de l'acide carbonique restent les mêmes, les produits de la combustion d'un kilogramme de carbone contiendront :

Oxygène	$0^{kil},89$
Oxyde de carbone	1 ,55
Acide carbonique	1 ,22.

et l'équation qui fournira la température de combustion sera :

$$t(0,89 \times 0,218 + 1,55 \times 0,248 + 1,22 \times 0,216) = 0,67 \times 2473 + 0,33 \times 8080;$$

d'où $t = 5134$.

Cette valeur est évidemment un maximum, car elle est plus élevée de 2000° que celle qui nous a fourni les conditions de dissociation

adoptées, et par conséquent il n'y a pas lieu de supposer la combustion plus complète, mais peut-être, au contraire, est-elle moindre, ce qui rendrait la température de combustion moindre aussi.

Quoi qu'il en soit, 2500° dans le cas de l'hydrogène ; 4000° à 5000 dans le cas du carbone, telles sont les températures qui pourraient être obtenues par la combustion dans l'oxygène pur.

2229. Si, au lieu de se servir d'oxygène pur, on employait un mélange d'oxygène et d'azote plus riche du premier gaz que ne l'est l'air atmosphérique, les températures obtenues seraient intermédiaires entre celles des n°s 290 et suivants et celles que nous venons de calculer, et se rapprocheraient d'autant plus de ces dernières que l'air employé serait plus riche en oxygène ; dans tous les cas un calcul fort simple permettrait d'obtenir cette température.

2230. On pourrait se procurer non de l'oxygène pur, mais de l'air plus riche en oxygène que l'air atmosphérique, par une simple action mécanique. En effet, l'eau dissout $\frac{1}{22}$ de son volume d'oxygène, et $\frac{1}{40}$ de son volume d'azote, ces gaz étant mesurés sous des pressions égales à celles de ces deux gaz dans l'atmosphère qui pèse sur l'eau, quelle que soit d'ailleurs la force élastique totale de cette atmosphère. Il résulte de là que le volume d'air renfermé dans l'eau à la température ordinaire est composé de 0,32 d'oxygène et de 0,68 d'azote. Supposons maintenant qu'on comprime de l'air dans de l'eau sous une pression de 2 atmosphères, qu'on fasse passer cette eau sous un gazomètre, qu'on recueille l'air qui se dégagera, on obtiendra de l'air qui renfermera 0,32 d'oxygène. Mais le travail mécanique consommé serait très-considérable, à cause de la masse d'eau sur laquelle il faudrait opérer. En faisant le calcul du prix de revient de 1^{mc} d'air, on trouve qu'il serait au moins équivalent au prix de 8^{k} de houille ; ainsi cette méthode est loin d'être industrielle. Cependant, si l'on pouvait disposer d'un courant d'eau sur lequel on établirait une large cloche de tôle dans laquelle une pompe aspirante maintiendrait un vide de 1 à 2^{c}, l'air extrait de l'eau, qui se renouvellerait constamment, reviendrait à un prix beaucoup moins élevé. Cette disposition mériterait d'être étudiée dans le cas où il serait important d'obtenir des températures supérieures à 3000° ; le combustible devrait être un gaz très-riche en carbone brûlé dans un des foyers décrits précédemment (835) ; mais ici encore on se trouverait probablement arrêté par le prix de revient élevé de l'oxygène.

2231. Le procédé chimique qui était autrefois le plus économique

pour obtenir de l'oxygène consistait à calciner du peroxyde de manganèse dans un cylindre de fonte chauffé au rouge ; 1 kilogramme de cette matière fournit à peu près 80 litres d'oxygène ; ainsi 1 mètre d'oxygène exigerait $12^k,50$ de peroxyde de manganèse, qui coûteraient 6 fr. 25 c., somme à laquelle il faudrait ajouter le prix du combustible consommé et celui de la main-d'œuvre.

2232. Dans les laboratoires, on emploie plus fréquemment le chlorate de potasse ; mais, comme le précédent, ce procédé est coûteux ; c'est donc dans une autre voie qu'on a cherché à trouver une préparation économique de l'oxygène.

2233. L'origine et le point de départ des procédés employés se trouvent dans la célèbre expérience de Lavoisier par laquelle il établit la composition de l'air. On sait qu'il absorbait d'abord l'oxygène de l'air en chauffant celui-ci au contact du mercure ; l'oxyde de mercure formé, étant ensuite chauffé plus fortement, fournissait l'oxygène. M. Boussingault proposa plus récemment l'emploi de la baryte ; son procédé consiste à faire passer sur ce corps chauffé au rouge sombre un courant d'air qui lui cède son oxygène ; le bioxyde de baryum ainsi formé, étant ensuite chauffé au rouge vif, laisse dégager l'oxygène qu'il avait absorbé et se trouve ramené à l'état de baryte qui peut subir à nouveau pour les mêmes actions. MM. Sainte-Claire Deville et Debray proposèrent ensuite de décomposer l'acide sulfurique qui résulte, comme on le sait, de la combinaison dans les chambres de plomb de l'acide sulfureux et de l'oxygène de l'air. L'acide arrivait goutte à goutte dans une cornue en grès remplie de fragments de briques et de rognures de platineet chauffée au rouge-blanc. Le mélange de gaz, acide sulfureux et oxygène, résultant de la décomposition était soumis à l'action de l'eau ou d'une base, potasse ou chaux, pour absorber l'acide sulfureux. M. Mallet, ancien élève de l'École centrale, employa le sous-chlorure de cuivre qui absorbe l'oxygène à la température ordinaire et le rend à une température peu élevée. Le procédé de MM. Sainte-Claire Deville et Debray, coûteux et complexe, était d'ailleurs subordonné à l'emploi de l'acide sulfureux ou des sulfites obtenus comme résidus, et il ne fut jamais considéré comme pouvant devenir sérieusement industriel. Dans le procédé de M. Boussingault et dans celui de M. Mallet, le véhicule qui emprunte l'oxygène à l'air pour le rendre ensuite, baryte ou sous-chlorure de cuivre, doit être successivement porté à des températures différentes ; il en résulte des manipulations coûteuses, des pertes de temps, de matière et de chaleur. De plus, au bout d'un certain

nombre d'opérations, la baryte s'est fortement agrégée, le sous-chlorure de cuivre a perdu du chlore et tous deux deviennent impropres à absorber l'oxygène. Ces procédés n'ont donc pas pu fournir une préparation économique de l'oxygène.

2234. Dans la méthode de MM. Maréchal et Tessié du Motay, on décompose au rouge le manganate de soude par un courant de vapeur d'eau surchauffée ; on forme ainsi un hydrate de soude, un oxyde de manganèse, et il se dégage de l'oxygène. Si on fait passer ensuite, sur le mélange, de l'air privé d'acide carbonique, l'oxygène est fixé et le manganate de soude est reformé. Cette préparation se fait sans changement de la température du fourneau et sans manipulation du véhicule ; elle présente donc à cet égard de notables avantages sur les précédentes. D'après M. Powell (Ingénieurs civils, 1872), une usine établie à Bruxelles et munie de deux fours produisait 360^{mc} d'oxygène par jour ; la dépense journalière était :

Charbon à 15 francs la tonne.....	34^{fr},00
Main-d'œuvre.....	20 00
Usine, frais généraux.....	41 00
	95^{fr},00

Soit 0 fr. 264 par mètre cube d'oxygène ; l'usine avait coûté 85000 fr. d'installation. Quoi qu'il en soit, nous ne sachions pas qu'il ait été donné suite aux divers essais qui avaient été faits, soit pour le chauffage, soit pour l'éclairage, de l'oxygène ainsi préparé.

2235. En admettant qu'on puisse se procurer l'oxygène dans des conditions suffisamment économiques, on arriverait par son emploi à produire des températures extrêmement élevées, surtout en employant des combustibles très-riches en carbone ; mais à ces hautes températures les matières les plus réfractaires ne résisteraient pas à la fusion. On sait que dans les fours à souder on donne seulement à la voûte du four environ 0^{m},20 d'épaisseur, attendu que, si on dépassait cette limite, les parties inférieures des briques fondraient ; et cependant les briques qu'on emploie dans la construction de ces fours sont déjà fort réfractaires.

2236. *Utilisation des chaleurs perdues.* — Dans un grand nombre de cas, on peut utiliser la chaleur perdue pour échauffer les corps sur lesquels on doit opérer, et pour cela il suffit que les fours soient allongés ou formés de plusieurs étages, parcourus successivement par l'air brûlé. Depuis longtemps, la chaleur perdue dans les fours à puddler et à réchauffer est appliquée à la formation de la vapeur. La

chaleur perdue peut aussi être employée à produire des actions chimiques qui n'exigent pas une température aussi élevée que les élaborations qui s'exécutent dans le premier four. Je citerai comme exemple les fours adoptés pour la décomposition du sulfate de soude par le charbon, opération qui exige une température très-élevée. A l'origine des fabriques de soude, et même longtemps après, on perdait complétement la chaleur renfermée dans les gaz qui sortaient de ces fours; mais, plus tard, on plaça, immédiatement après, les fours dans lesquels on décompose le sel marin par l'acide sulfurique, et où l'on calcine le sulfate produit; la chaleur perdue des premiers fut suffisante pour le travail des derniers, et on économisa complétement le combustible que ceux-ci consommaient auparavant. Mais ce mode d'opération a l'inconvénient de rendre beaucoup plus difficile la condensation de l'acide chlorhydrique, parce qu'il se trouve disséminé dans un grand volume de gaz, ce qui avait conduit à le verser dans l'atmosphère, où ce mélange est très-nuisible à la végétation des lieux environnants; mais les règlements de salubrité ont forcé les usines à condenser tous ces produits.

2237. On a proposé dernièrement, en Angleterre, d'enflammer la fumée après son action dans les fours à réverbère, afin de produire un tirage plus énergique, ou pour toute autre opération. Des expériences dans lesquelles ce réallumage a été tenté ont pu faire croire à quelques personnes qu'on pouvait ainsi réaliser de sérieuses économies; mais il est facile de voir que si le foyer est bien conduit, il ne saurait en résulter aucun avantage réel. En effet, les gaz combustibles qui se dégagent à la sortie du four n'existent dans l'air brûlé que parce que la combustion a été incomplète dans le foyer, et on peut empêcher la production d'une quantité notable de ces gaz combustibles en admettant une proportion d'air suffisante pour que la transformation en acide carbonique soit complète. Il résulte de cette manière d'opérer l'avantage de développer une température plus élevée et, par suite, de réaliser une économie dans la consommation du combustible. Ainsi, par le procédé proposé en Angleterre, on arriverait à un résultat tout à fait opposé à celui que les inventeurs se flattaient d'atteindre.

Quand l'utilisation de la chaleur n'exige pas des circuits trop prolongés de l'air brûlé, et quand la température de la fumée n'est pas abaissée au-dessous de 100 à 150°, le tirage de la cheminée est peu diminué; car, de 100 à 400°, le tirage n'augmente que dans le rapport de 1,31 à 1,96 pour une même section et hauteur de cheminée.

D'ailleurs, comme les cheminées doivent toujours avoir un excès de puissance due à un excès de section, une plus grande ouverture du registre compense la perte de tirage, pourvu que les moyens employés pour le refroidissement ou l'utilisation ne causent pas une trop grande résistance.

2238. Mais quand on a l'emploi de toute la chaleur perdue, et qu'on peut disposer d'une action mécanique, il y a bien plus d'avantage à produire l'appel de l'air dans le foyer par une machine, que de conserver à l'air brûlé une température assez élevée pour effectuer le tirage, surtout quand l'action mécanique peut provenir d'un moteur à vapeur ou à eau, car le travail des hommes et des animaux n'est pas assez régulier, et d'ailleurs revient à un prix beaucoup plus élevé.

2239. Il y a même des circonstances dans lesquelles un tirage mécanique, ou une introduction forcée de l'air dans le foyer évite de graves inconvénients ; je citerai comme exemple les verreries. Dans les fours où l'on fond le verre, il n'y a point réellement de cheminée ; le tirage résulte de la force ascensionnelle de l'air chaud dans la hauteur du four, et ce faible tirage est souvent influencé par les vents. D'après des renseignements qui m'ont été donnés par M. de Fontenay, ancien élève de l'École centrale, ingénieur chimiste, la fonte dans un four à verre, dont la halle était placée dans une vallée étroite, ne marchait que par certains vents ; mais, en établissant à côté des cendriers un ventilateur à force centrifuge mis en mouvement par un homme, il rendit le travail indépendant du vent. Le ventilateur fonctionne seulement pendant la fonte, qui dure quatorze heures ; deux ouvriers, qui se relayent d'heure en heure, suffisent pour effectuer une combustion de près de 200 kilogrammes de bois par heure. Les creusets ont 1 mètre de hauteur sur $0^m,30$ de largeur, et les grilles sont en terre cuite.

2240. La révivification du noir animal, dans les fabriques et raffineries de sucre, s'exécute quelquefois dans des cylindres de fonte que l'on chauffe progressivement jusqu'au rouge obscur. On conçoit facilement que ces cylindres pourraient être portés sur deux rails parallèles entre eux, perpendiculaires à la direction des barreaux de la grille, qui se prolongeraient dans l'espèce de four qui se trouve à côté du foyer, et qui seraient un peu inclinés vers lui ; les cylindres arriveraient progressivement vers le foyer au-dessus duquel l'opération se terminerait. L'air brûlé reviendrait au-dessus de la voûte du four, sous des plaques de tôle, pour dessécher le noir animal

qui aurait d'abord été étendu sur la surface. Cette disposition a été essayée et a donné d'assez bons résultats. La figure 583 représente une coupe verticale de l'appareil par le milieu du foyer.

2241. Mais on emploie ordinairement des dispositions toutes différentes; ce sont généralement des fours coulants dans lesquels sont installées des batteries de tubes verticaux ou inclinés qu'on charge par le haut et qu'on décharge par le bas. Généralement ces tubes sont en fonte; dans certains cas les appareils sont cependant complétement céramiques; des registres qu'on fait fonctionner à des moments donnés permettent de faire écouler tout ou partie de la charge, rouge ou partiellement refroidie dans des étouffoirs; nous renvoyons aux ouvrages spéciaux pour la description de ces divers appareils.

2242. Indépendamment de la perte de chaleur provenant de la haute température à laquelle l'air brûlé est abandonné dans la plupart des appareils de chauffage, il existe dans quelques-uns, comme nous l'avons déjà dit, une cause de perte beaucoup plus considérable encore, qui provient de ce que les gaz qui se dégagent renferment une proportion notable de gaz combustibles. C'est ce qui arrive pour les fours à coke, pour les hauts fourneaux et quelques autres appareils métallurgiques à foyers soufflés, dans lesquels le combustible se transforme presque uniquement en oxyde de carbone. Pour utiliser la chaleur perdue, il faut effectuer la combustion des gaz avant de les faire passer dans les appareils qui doivent en absorber la chaleur.

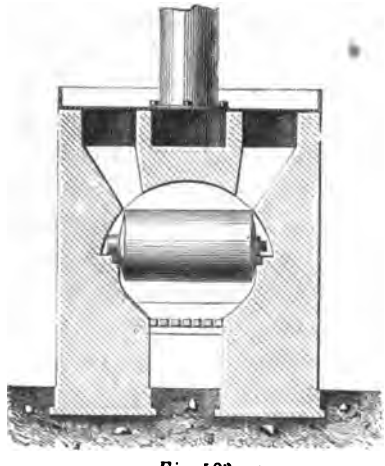


Fig. 583.

2243. Nous avons déjà, en parlant des fours à coke, indiqué un moyen d'utiliser leurs chaleurs perdues; nous avons également vu que le premier emploi de la flamme des hauts fourneaux avait été fait en 1812, par M. Aubertot, pour la cuisson de la chaux et des briques, et qu'elle fut beaucoup plus tard appliquée au chauffage des appareils à air chaud, des chaudières, à la carbonisation des bois, etc. Nous avons ensuite décrit les appareils servant à recueillir avant

leur inflammation et à nettoyer les gaz développés dans ces fourneaux, ainsi que divers foyers pour les brûler; nous ne reviendrons pas sur ce que nous avons dit à ce sujet; mais, comme les hauts fourneaux offrent un intérêt tout particulier, nous ajouterons quelques indications sur le travail du fer obtenu au moyen de leurs gaz et sur l'emploi des gaz en général.

2244. En juin 1841, MM. Laurens et Thomas, conjointement avec MM. d'Andelarre et de Lisa, maîtres de forges à Tréveray, communiquèrent à l'Académie des sciences les résultats qu'ils obtenaient d'une manière régulière dans la fabrication du fer, par la combustion des gaz des hauts fourneaux. Cette application manufacturière était venue à la suite de plusieurs années de recherches et d'études de MM. Laurens et Thomas, sur les divers éléments qui entrent dans la constitution du système du travail du fer par les gaz combustibles.

Au mois d'août suivant, M. Faber-Dufaur fit lire à l'Académie des sciences une note dans laquelle il annonçait qu'il était lui-même parvenu, dans l'usine allemande de Wasseralfingen, depuis plusieurs années, à fabriquer du fer par les gaz des hauts fourneaux; mais que tous ses essais avaient été tenus secrets par ordre de l'administration.

On voit que les essais relatifs au chauffage des fours employés au travail du fer par les gaz qui se dégagent des hauts fourneaux ont été tentés simultanément en France et en Allemagne. Mais la priorité scientifique appartient aux métallurgistes français qui ont fait connaître les premiers leurs procédés. La priorité légale de cette importante amélioration dans l'industrie métallurgique leur fut acquise également par des brevets antérieurs à ce qui avait été exécuté en Allemagne.

Du reste, les principes et les appareils employés en France sont très-sensiblement différents et ils me paraissent bien supérieurs à ceux dont on s'est servi en Allemagne.

2245. D'abord le recueillement des gaz ne doit être opéré qu'au gueulard des hauts fourneaux, quel que soit d'ailleurs l'usage de ces gaz qu'on ait en vue; car il est bien évident qu'on ne gagne rien à le faire beaucoup au-dessous, l'excès de matières combustibles que renferment alors les gaz devant nécessairement être compensé par un accroissement de consommation du charbon dans le haut-fourneau. D'ailleurs une prise des gaz, sensiblement en contre-bas du gueulard, change l'allure du fourneau; car, si l'on prenait tous les gaz, tout se passerait comme si le fourneau se terminait au niveau

de la prise. Enfin on doit chercher à utiliser la totalité des gaz produits et non simplement une fraction de ceux-ci.

Le mode de recueillement des gaz décrit, étant basé sur les principes que nous venons de poser, devait produire de meilleurs résultats que celui d'abord employé à Wasseralfingen : c'est, en effet, ce qui eut lieu dans la pratique.

Un nettoyage attentif des gaz, d'après les expériences faites aux forges de Tréveray, est une précaution fort utile ; car les matières entraînées nuisent au soudage du fer et en altèrent souvent la qualité. C'est le système de nettoyage décrit qui a été employé pour le travail du fer.

2246. Les appareils de combustion, qui furent appliqués en France dans la même circonstance, sont bien plus complets que ceux qui ont été essayés par M. Faber-Dufaur ; l'air et les gaz y sont plus divisés, de sorte qu'on obtient une combustion parfaite alors même qu'on réduit le volume d'air introduit à la proportion théorique exactement nécessaire à la combustion ; enfin les gaz, ainsi que l'air de la combustion, étaient portés à une très-haute température dans des cornues réfractaires avant leur arrivée au foyer ; ces diverses circonstances exercent de l'influence sur le degré de température obtenue et sur sa constance.

2247. C'est également en France que fut effectuée pratiquement la conversion préalable des combustibles solides en gaz, au moyen des gazogènes de MM. Laurens et Thomas et sa première application au puddlage et au réchauffage du fer ; nous avons dit antérieurement quelles circonstances empêchèrent alors le procédé de se répandre, quoiqu'il eût réussi.

Depuis quelques années, les idées se sont reportées sur le travail du fer au gaz. Les applications en ont été jusqu'ici peu nombreuses et faites seulement pour des cas particuliers, tels que les fours pour la fabrication de l'acier, la refonte des déchets d'acier et quelques réchauffages spéciaux. Le travail au gaz ne prendra sans doute de l'extension que quand le mode encombrant et irrégulier de génération du gaz, qui est actuellement employé, aura été modifié et ramené probablement au gazogène originel.

2248. Le puddlage au gaz des hauts fourneaux, quoiqu'il eût été complétement résolu au point de vue technique, a été abandonné, notamment pour ce motif que la possibilité de son application ne se présente que rarement. En effet, pour un travail régulier, il convient de ne pas recourir au gaz d'un seul haut fourneau ; nos fourneaux au

charbon de bois, à faible production, loin d'être réunis en grand nombre, sont généralement isolés, et de plus ils n'ont pas de laminoirs à proximité. En outre, les facilités offertes par les nouveaux procédés eux-mêmes pour le chauffage des chaudières ont fait multiplier les souffleries à vapeur. Quand un haut fourneau a livré ses gaz aux chaudières et à l'appareil à air chaud ordinaire, ce qui reste, et il en reste dans le cas d'une bonne installation et de hauts fourneaux un peu puissants, est loin d'être suffisant cependant pour une application régulière au puddlage.

Il n'en serait pas de même dans de grandes usines possédant plusieurs hauts fourneaux au coke avec forge à laminoirs dans leur enceinte. Mais alors le travail au gaz peut être considéré comme un accessoire qui occasionnerait des frais d'installation et de conduite que l'économie possible de combustible ne paraît pas compenser suffisamment. Si le travail au gaz au moyen des gazogènes était le travail courant, les gaz des hauts fourneaux pourraient devenir, pour le puddlage, un auxiliaire qui ne serait pas à dédaigner.

Il faut dire aussi que l'excédant de gaz, dont nous avons parlé, se trouve sensiblement réduit depuis qu'on a trouvé une économie de combustible à chauffer l'air à des températures beaucoup plus élevées qu'on ne le faisait antérieurement ; c'était là un bénéfice immédiat, relativement facile à réaliser.

Toutefois, il est constant que les travaux exécutés en France ont démontré la possibilité pratique du travail au gaz et posé les bases de son application au puddlage et aux différents traitements sidérurgiques au moyen de gaz combustibles, quelle qu'en soit la provenance, les hauts fourneaux ou les gazogènes.

2249. Dans tous les cas, il est bien peu de hauts fourneaux qui ne tirent pas profit des procédés nouveaux d'utilisation des gaz perdus : tous ceux qui ont des machines à vapeur, et le nombre s'en est considérablement accru, ne les chauffent pas autrement ; il en est de même des appareils à air chaud.

2250. Dans les usines à fonte placées sur les cours d'eau et où les gaz ne sont pas employés au chauffage de l'air, on les a utilisés avec avantage à des réchauffages, au chauffage des étuves et à la cuisson de la chaux. Comme nous l'avons dit, cette dernière utilisation avait été tentée déjà par M. Aubertot en 1812 ; mais elle avait été abandonnée par suite de la difficulté de placer les fours à chaux au sommet du haut fourneau, de leur faible produit et aussi à cause du dérangement à la marche normale résultant de l'appel des gaz ou

plutôt de la flamme que produisaient ces gaz. On ignorait à cette époque qu'on pût transporter les gaz à de grandes distances et les brûler dans des foyers spéciaux. Grâce aux nouveaux procédés de prise et de conduite des gaz, cette application est devenue facile. Les fours à chaux ont une hauteur à peu près égale à celle des hauts fourneaux ; ils peuvent être desservis par les mêmes monte-charges. Avec des foyers à gaz disposés de manière à ce qu'il n'entre pas trop d'air, on obtient avec le simple tirage du four une température suffisante à la cuisson de la chaux. Les fours peuvent d'ailleurs être intermittents ou continus. La chaux obtenue ainsi peut servir à tous les usages ; elle est plus propre, cuite plus régulièrement que celle qu'on obtient dans les fours coulants à la houille. Quelques maîtres de forges en France tirent déjà ainsi un parti important des gaz de leurs hauts fourneaux. On estime que la quantité de chaux produite ainsi est égale à la quantité de fonte fournie par le haut fourneau.

2251. Le bénéfice considérable que procurent les chauffages au gaz est aujourd'hui nécessaire à l'existence de nos forges, et, depuis l'Exposition universelle de 1855, l'imitation en Angleterre, malgré le bas prix du combustible, des procédés usités en France pour l'emploi des gaz des hauts fourneaux, a pris une remarquable extension.

LIVRE XIV

DU REFROIDISSEMENT.

CHAPITRE PREMIER

Considérations générales sur le refroidissement dans l'air.

2252. Lorsqu'un corps échauffé est exposé à l'air, il se refroidit, et par le rayonnement de sa surface et par le contact de l'air. Si la surface du corps est maintenue à une température constante, la quantité de chaleur perdue par mètre carré et par heure peut se déduire avec une grande précision des formules que nous avons données dans le livre II de cet ouvrage ; mais quand la chaleur émise par la surface n'est pas constamment restituée, les lois du refroidissement ne sont plus les mêmes et la température du corps s'abaisse progressivement. Quand le corps est métallique, ou quand il est formé d'un vase métallique plein d'eau ou d'un autre liquide, on peut, sans erreur sensible, du moins dans un grand nombre de cas, considérer tous les points du corps comme ayant sensiblement la même température, et comme se refroidissant simultanément de la même quantité ; et, quand on connaît la température de l'air, la forme du corps, son poids et sa capacité calorifique, on peut arriver par le calcul à déterminer les conditions de son refroidissement et sa température après un certain temps. Mais si le corps conduisait mal la chaleur, sa température irait en augmentant à mesure qu'on s'éloignerait de sa surface, et celle d'un point dépendrait, après un certain temps, non-seulement des différents éléments dont nous avons parlé, mais encore de sa position. La question serait d'une extrême complication, et réellement insoluble d'une manière générale ; heureusement cette question ne se présente pas dans l'industrie.

2253. Si, dans le cas d'un vase plein d'eau ou d'un corps métallique exposé à l'air à une certaine température, il était important d'avoir au moins une valeur approximative de la température du corps après un certain temps x, on pourrait admettre pour le refroidissement la loi de Newton. En désignant par V la vitesse du refroidissement, c'est-à-dire le rapport entre la variation très-petite de température dt et le temps dx, on aurait :

$$V = \frac{-dt}{dx} = at \quad ; \text{ d'où } dx = \frac{-dt}{at} \quad ; \text{ et } \log t = C - \frac{ax}{M}.$$

M étant le module des tables 2,3025, t la température après le temps x; en désignant par T la température à l'origine du temps, on aurait $C = \log T$, et la formule deviendrait $\log t = \log T - \frac{ax}{M}$. Cette formule ne renferme plus qu'une seule inconnue a, qu'il faudrait déterminer en observant la température t' après le temps x', ce qui donnerait $a = -(\log t' - \log T)\frac{M}{x'}$.

2254. Ordinairement, les questions relatives au refroidissement se réduisent aux suivantes : 1° ralentir la vitesse du refroidissement ; 2° augmenter la vitesse du refroidissement ; 3° récolte, conservation et transport de la glace ; 4° fabrication de la glace et refroidissement artificiel.

CHAPITRE II

Dispositions propres à retarder le refroidissement des corps.

2255. Lorsque les corps sont placés dans l'air, ils se refroidissent, comme nous l'avons déjà dit, en communiquant la chaleur aux corps environnants par le rayonnement de leurs surfaces, et par le contact et le renouvellement de l'air.

2256. Pour diminuer la transmission directe, il faut faire en sorte que les corps avec lesquels celui qui est échauffé se trouve en contact, soient, autant que possible, mauvais conducteurs, et il faut surtout éviter le contact des liquides, qui, par leur grande capacité calorifique, par leur mobilité et par leur évaporation, absorbent très-facilement la chaleur.

2257. Pour diminuer la perte de chaleur due au rayonnement, il

faut employer des corps ayant un très-faible pouvoir émissif, tels que les métaux polis.

2258. Pour réduire la quantité de chaleur enlevée par le contact de l'air, qui, comme nous l'avons vu, est indépendante de l'état et de la nature de la surface des corps, il faut s'opposer au renouvellement de l'air qui environne le corps, en couvrant sa surface d'une enveloppe qui ne soit ouverte que par le bas.

2259. De tous les moyens qu'on peut employer, les enveloppes formées de matières conduisant mal la chaleur et renfermées dans des surfaces métalliques brillantes, sont les plus efficaces. Aux substances isolantes que nous avons déjà énumérées plus haut (1473) on peut ajouter la laine de laitier fabriquée aux établissements métallurgiques de Frédéric Krupp à Essen. Cette substance a la même composition que le laitier des hauts fourneaux, elle ressemble à du coton effiloché; elle est mauvaise conductrice et incombustible; on l'emploie sur une épaisseur de $0^m,075$ pour garnir les tuyaux de vapeur, ce qui exige 4 kilogrammes de laine de laitier par mètre carré; on recouvre ensuite d'une toile goudronnée ficelée ou d'une enveloppe métallique. Les enveloppes multiples sont aussi très-avantageuses. Les formules et les nombres que j'ai donnés dans le livre VI de cet ouvrage permettront facilement de trouver dans chaque cas particulier les pertes produites, et les moyens les plus simples et les plus efficaces pour les éviter.

CHAPITRE III

Dispositions propres à accélérer le refroidissement des corps.

2260. Lorsqu'un corps est solide, ou liquide, mais contenu dans un vase fermé, et qu'il doit être refroidi, on augmente la vitesse du refroidissement en donnant à la surface du corps ou du vase un grand pouvoir émissif par un enduit terne. On augmente aussi le refroidissement du corps en accélérant le renouvellement de l'air à sa surface, par une cheminée placée au-dessus de lui, ou en produisant une vive agitation dans l'air qui l'environne.

2261. Quand le corps peut être plongé dans l'eau, et qu'on peut disposer d'une masse assez grande de ce liquide, il y a un grand avantage, sous le rapport du temps, à effectuer son refroidissement dans l'eau. D'après quelques expériences, pour des excès de tempé-

rature compris entre 10 et 26°, la quantité A de chaleur transmise au liquide par mètre carré et par heure pour une différence de température de t, est sensiblement

$$A = 43t\,(1 + 0{,}105t).$$

Mais, comme dans ces expériences la température du vase n'a pas dépassé 40°, il ne faudrait pas appliquer la formule à une température plus élevée. Elle s'éloignerait surtout beaucoup de la réalité si le liquide environnant était amené à l'ébullition, parce que le renouvellement du liquide en contact avec la surface du vase s'effectuerait bien plus rapidement par la formation des vapeurs que par les mouvements qui proviennent des simples changements de densité. La vitesse du refroidissement serait encore beaucoup augmentée si le corps ou le liquide était vivement agité.

2262. Quand le corps est liquide, vaporisable à une température inférieure à celle de son ébullition, et qu'on ne craint pas d'en perdre une partie, le mode de refroidissement le plus puissant est l'évaporation ; les circonstances qui favorisent l'évaporation sont : 1° une grande surface libre du liquide, 2° un renouvellement rapide de l'air en contact avec le liquide.

Après avoir posé les principes généraux qui doivent servir de guide dans tous les cas, nous examinerons quelques dispositions particulières.

2263. L'acide sulfurique, tel qu'il sort des chambres de plomb dans lesquelles il a été produit, est d'abord rapproché dans des chaudières de plomb, et on termine sa concentration dans de grands vases de platine, disposés de manière qu'on puisse recueillir et condenser les vapeurs qui se dégagent. Lorsque le liquide a acquis la densité convenable, il faut l'enlever rapidement, afin que les opérations puissent se succéder après de courtes interruptions, non-seulement pour éviter une perte de combustible, mais pour que l'intérêt du capital du vase de platine, capital qui dépasse souvent 40,000 francs, se porte sur une plus grande masse de produits. La disposition qu'on emploie consiste en un siphon en platine, dont la courte branche descend verticalement jusqu'au fond de la chaudière ; la plus longue, peu inclinée à l'horizon, est ordinairement formée de deux tubes parallèles réunis à leurs extrémités ; ces deux tubes inclinés sont placés dans une caisse métallique pleine d'eau froide, qui se renouvelle constamment par un tube amenant l'eau vers le fond, et par un autre tube partant de la surface du liquide. Pour faire écouler

l'acide sulfurique concentré et bouillant, on amorce le siphon en fermant le robinet qui se trouve à l'extrémité de la branche libre, et ouvrant deux petits godets qui se trouvent au point culminant : par l'un on verse de l'acide froid, par l'autre l'air se dégage ; quand le premier est plein, on les ferme tous les deux et on ouvre le robinet d'écoulement, et les robinets d'accès de l'eau dans le réfrigérant.

2264. Dans les brasseries, il est important d'accélérer autant que possible le refroidissement du moût, afin de déterminer promptement la fermentation, car un refroidissement trop lent nuit à la qualité de la bière. Autrefois on se contentait de placer le moût dans de grandes caisses d'une petite profondeur et d'une grande surface. Dans ce système on pouvait accélérer beaucoup le refroidissement en favorisant, par un moyen quelconque, le renouvellement de l'air en contact avec la bière ; par exemple, en plaçant à la surface du liquide une roue à ailes planes, disposées comme celles d'un ventilateur à force centrifuge, dont l'axe serait horizontal et tournerait avec une grande vitesse. D'après une expérience faite en Angleterre, pour une bâche où le liquide avait $0^m,135$ de profondeur, et 30 mètres carrés de surface, le refroidissement de 4000 litres de moût durait 10 heures; et en établissant à la surface de la bière une roue à quatre ailes de 2 mètres de diamètre, dont les arêtes inférieures des ailes étaient à 0,027 de la surface du liquide, et qui faisait 120 tours par minute, le refroidissement a eu lieu en 2 heures. Maintenant, dans les grands établissements, on emploie des appareils qui permettent d'utiliser une grande partie de la chaleur perdue.

2265. Le premier appareil dont on s'est servi a été imaginé par Nickols; il était formé de trois tuyaux en cuivre concentriques : le tuyau intérieur était plein d'air; dans l'intervalle de ce tuyau et de celui qui l'enveloppait, circulait de l'eau froide, et l'intervalle du second et du troisième était parcouru en sens contraire par la bière ; enfin, un tube qui avait toute la longueur des grands tuyaux versait de l'eau froide sur la surface extérieure de la dernière enveloppe. Cet appareil est compliqué, d'un prix élevé et très-difficile à nettoyer.

2266. Une autre disposition, due à M. Tamisier, paraît plus avantageuse que la précédente. L'appareil est composé de trois lames de cuivre rectangulaires, parallèles, repliées alternativement de haut en bas et de bas en haut, formant deux canaux ayant une surface commune et fermés latéralement. La bière circule dans le canal supérieur, l'eau parcourt en sens contraire le canal inférieur, et des injections d'eau froide ont lieu sur toutes les parties de la surface

extérieure du canal, par des tubes garnis de têtes d'arrosoir. Enfin, on a ménagé des regards dans les parties culminantes du conduit supérieur, et des orifices dans toutes les parties inférieures, pour enlever de temps en temps les dépôts formés par la bière.

Il est évident que, dans les deux appareils que nous venons de décrire, s'il n'y avait pas d'injection d'eau froide sur la surface extérieure, si l'on n'employait qu'un volume d'eau égal à celui du moût et si le circuit avait une étendue suffisante, il y aurait, en faisant marcher l'eau en sens contraire du moût, échange presque complet de température entre les deux liquides, et l'eau qui a servi au refroidissement pourrait être employée utilement à la préparation d'une nouvelle décoction. Mais, pour ce dernier objet et surtout pour la facilité du nettoyage, les appareils que nous avons décrits (2074 et suiv.) sont bien préférables.

2267. A ces appareils nous ajouterons la description d'un réfrigérant très-employé en France et qui est d'un très-bon service. C'est celui de M. Baudelot-Migeon de Harancourt; il se compose d'un bâti rectangulaire vertical, à la base duquel se trouve un bac étroit pour recevoir la bière refroidie, et à la partie supérieure un tuyau percé de trous dans toute sa longueur qui distribue la bière dans un premier baquet étroit dont le fond est formé d'une toile métallique très-serrée qui retient les corps étrangers qu'elle pourrait contenir. La bière tamisée tombe ensuite dans un second baquet placé au-dessous du premier, à section semi-circulaire, et dont l'arête inférieure est percée d'un grand nombre de petits trous qui la laissent couler en la répartissant uniformément sur un premier tuyau horizontal; au-dessous de celui-ci s'en trouvent un certain nombre d'autres placés dans le plan du bâti; dans ces tuyaux circule de l'eau froide et pour former une circulation unique, ils sont réunis deux à deux et alternativement par un bout de tuyau vertical; l'eau froide arrive à la partie inférieure de ce serpentin et sort chaude à l'autre extrémité, c'est-à-dire à la partie supérieure; cette eau chaude peut être utilisée pour les besoins de la brasserie, soit pour nettoyer les tonneaux, soit pour servir au brassin suivant.

Afin d'assurer la descente régulière de la bière sur toute la surface des tuyaux chacun d'eux est muni le long de sa génératrice la plus basse d'une bande métallique découpée en dents de scie et qui répartit la bière dans sa chute d'un tuyau sur l'autre.

Enfin l'extrémité de chaque tuyau est fermée par une vis qu'on peut enlever pour en nettoyer l'intérieur; c'est là un avantage très-

sérieux que présente ce réfrigérant sur le réfrigérant capillaire de MM. Lawrence et Cie, lorsqu'on doit se servir d'eaux calcaires ou bourbeuses ; le nettoyage des surfaces en contact avec la bière se fait d'ailleurs très-facilement, puisque ces surfaces sont extérieures.

Avec un réfrigérant de $2^m,30$ de long sur $1^m,10$ de hauteur on peut refroidir par heure 18 hectolitres de bière.

Dans le cas de réfrigérants puissants, le nombre des tubes devient considérable et l'appareil prend une très-grande hauteur, ce qui peut le rendre gênant et en rendre l'installation difficile dans les brasseries ; M. Baudelot remplace alors les tubes circulaires par des tubes à section elliptique dont le grand axe est horizontal ; par ce moyen on peut augmenter la surface refroidissante sans augmenter la hauteur.

Pour augmenter la surface de refroidissement et faciliter le renouvellement de l'eau en contact avec les surfaces métalliques, M. Baudelot garnit l'intérieur des tuyaux horizontaux d'un *brasse-courant*. C'est une feuille de tôle mince contournée en surface héliçoïdale ayant le diamètre des tuyaux et en occupant toute la longueur. Cette disposition est évidemment favorable à l'échange des températures.

2268. L'emploi de l'eau de puits ordinaire peut suffire au refroidissement des moûts quand il s'agit de bières à fermentation haute ; mais s'il s'agit de moûts de basse fermentation, qui doivent être amenés à une température de 5 à 6°, cela ne suffit plus ; on pourrait arriver au résultat désiré en faisant passer la bière déjà refroidie à 15 ou 17° par un réfrigérant à eau de puits sur un second réfrigérant à eau plus froide obtenue en faisant passer au préalable l'eau de puits sur de la glace ; on pourrait d'ailleurs réunir les deux réfrigérants en un seul, le réfrigérant à eau glacée occupant la partie inférieure, comme nous l'avons dit déjà pour l'appareil de MM. Lawrence et Cie (2084). Pour refroidir le moût de 15 à 6°, soit de 9°, il faudra absorber 900 calories par hectolitre, ce qui exigera $\frac{900}{79,25} = 11^k,4$ soit 12 kilogrammes environ de glace par hectolitre de moût refroidi. Lorsque le moût sera assez riche pour être dilué sans inconvénient, on pourra ajouter directement la glace au brassin, mais on le voit cette addition diminuera de plus de 1/10 la richesse dn moût, et elle sera en général peu recommandable ; car dans la plupart des cas il aura fallu, pour obtenir un moût assez riche, le concentrer au préalable et évaporer sous l'action de la chalenr plus de 1/10 de

son poids d'eau, opération qui constitue une dépense et qui altère la bière en chassant du brassin les matières volatiles qu'il contient.

2269. Quand le moût est suffisamment refroidi, il est amené dans les cuves guilloires où il est soumis à la fermentation ; celle-ci détermine une élévation de température du liquide à laquelle il faut s'opposer sous peine de voir se développer l'action des ferments acétique et lactique et par suite d'obtenir une bière de mauvaise qualité. Il faut donc s'opposer à ce réchauffement du moût ; on y arrive de différentes manières.

2270. En Angleterre, on fait couler de l'eau de puits dans des serpentins placés dans les cuves de fermentation ; ce moyen est alors suffisant puisqu'il s'agit de fermentations hautes.

2271. M. Velten (de Marseille) opère de la même façon, mais il emploie de l'eau refroidie à une température voisine de zéro, ce qui permet de maintenir le liquide en fermentation à la température de 6 à 8° qu'on ne doit pas dépasser dans une bonne fermentation basse.

2272. En Alsace on se sert de *nageoires* ou *nageurs ;* ce sont des cônes ou des cylindres en cuivre ou en tôle étamée contenant 50 ou 60 litres qu'on remplit de glace et qu'on introduit dans les cuves à fermentation ; la quantité de glace qu'il faut employer au maintien de la température du moût dans le cas de l'emploi de la circulation de l'eau froide aussi bien que de celui des plongeurs est très-considérable. Elle est au moins de 25 à 30 kilogrammes par hectolitre de bière.

2273. Le refroidissement de l'eau de condensation des machines à vapeur est indispensable quand on ne peut pas disposer d'une quantité d'eau froide suffisante, et qu'on est obligé de faire servir constamment la même eau, ou bien quand l'eau froide est prise à une grande profondeur et que les pompes consomment trop de travail.

2274. On peut refroidir l'eau de condensation d'une machine à vapeur, et utiliser la chaleur qu'elle renferme, en effectuant son refroidissement soit par un courant d'air qui passe dans des tuyaux plongés dans l'eau et qu'on amène dans des séchoirs ou dans des ateliers, soit en la faisant circuler dans des conduits placés dans des ateliers.

2275. Mais quand on n'a pas l'emploi de la chaleur de l'eau de condensation, la meilleure méthode consiste à favoriser le refroidissement par l'évaporation. La figure 584 représente une coupe verticale, d'une disposition assez simple, qui produit un refroidissement

très-rapide. L'eau chaude arrive par le tube A dans la bâche B, soutenue à une certaine hauteur par un bâti en bois ; elle s'écoule par un grand nombre d'orifices très-petits percés dans le fond de cette bâche, et tombe sur des fagots d'épines qui la divisent et donnent accès à l'air aspiré par la cheminée D ; l'eau, après avoir

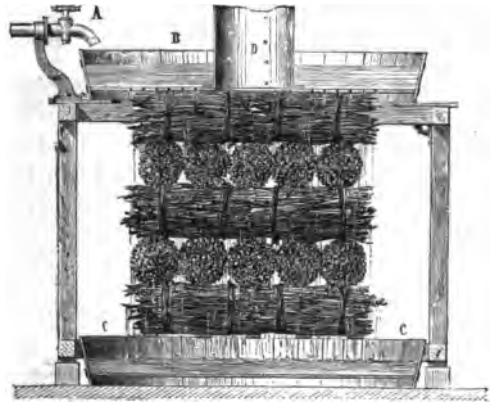


Fig. 584.

traversé les fagots, tombe dans la bâche CC, où elle est prise par une pompe qui la remonte dans la bâche B.

2276. La figure 585 représente une coupe verticale d'un appareil disposé d'une autre manière. La bâche supérieure est garnie d'un grand nombre de tubes métalliques D, D, fixés sur son fond, s'élevant à une certaine hauteur, et se prolongeant au-dessous de quelques centimètres ; à la partie inférieure des tubes, sont attachés des tuyaux en toile S, S, maintenus ouverts par des anneaux métalliques qui se trouvent au bas de chacun d'eux. De nombreux orifices percés dans le fond de la bâche B et autour des cylindres, permettent au liquide de s'écouler sur la surface des tuyaux de toile pour tomber dans la bâche C ; les tuyaux forment alors des cheminées dans lesquelles l'air échauffé par l'eau chaude se meut rapidement et produit une prompte évaporation.

2277. Dans la figure 586, on voit un appareil disposé encore d'une autre manière. Le fond de la bâche supérieure est percé d'un grand nombre de trous circulaires dans lesquels sont placées des cordes d'un diamètre un peu inférieur ; ces cordes passent dans deux trous voisins ; elles sont soutenues par leur milieu, et servent de conduits à l'eau qui s'écoule de la bâche supérieure dans la bâche inférieure.

L'air, appelé par la cheminée centrale, traverse le faisceau de cordes et refroidit rapidement l'eau qui coule sur les surfaces.

Fig. 585.

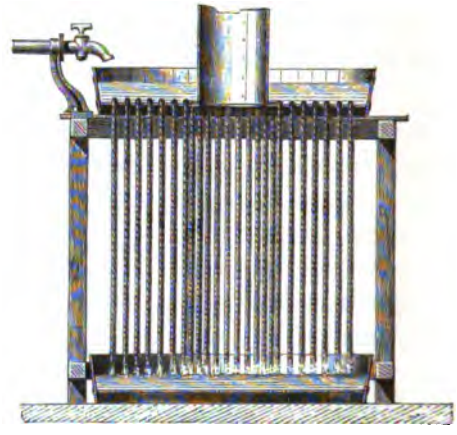


Fig. 586.

2278. L'appareil représenté dans la figure 587 a beaucoup d'ana-

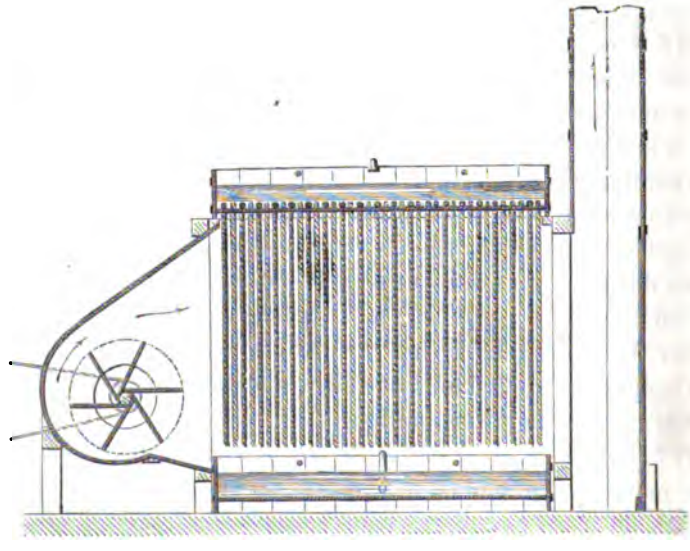


Fig. 587.

logie avec le précédent. L'eau s'écoule encore à la surface de

cordes, mais les bâches sont rectangulaires ; l'espace qui les sépare est fermé de toute part, et communique d'un côté avec un ventilateur à force centrifuge et par le côté opposé avec une cheminée. L'eau de la bâche inférieure est remontée par une pompe, dans le cas où une seule chute ne la refroidit pas suffisamment

2279. Le même appareil pouvait servir à la solution du problème inverse, c'est-à-dire au refroidissement de l'air au moyen d'eau plus froide que lui ; c'est une disposition tout à fait analogue en effet qui a été employée par MM. Nezevaux et Garlandat pour rafraîchir l'air ; leur appareil se compose d'une caisse rectangulaire divisée en deux compartiments suivant la hauteur par une plaque métallique mince percée de trous et légèrement inclinée ; dans le cas le plus ordinaire cette inclinaison qui peut d'ailleurs être variable est de 4 centimètres par mètre. A la partie supérieure de la plaque se trouve une rigole recevant de l'eau par un tuyau extérieur et qui la répand ensuite sur la plaque de telle façon qu'elle y prend une épaisseur de 1 centimètre environ ; cette eau se déverse à l'autre extrémité de la plaque le long d'une autre plaque presque verticale située à quelques centimètres de la paroi de la caisse et qui descend à une très-petite distance du fond de celle-ci ; l'eau se répand alors sur le fond de la caisse et s'écoule par un trop-plein à calotte dans lequel il peut se former une petite colonne d'eau destinée à équilibrer l'excès de pression que présente l'air de l'intérieur sur l'extérieur ; L'air est amené par un ventilateur dans le compartiment inférieur de la caisse, traverse l'eau qui se trouve sur la plaque médiane, se refroidit au contact de cette eau, à une température voisine de la température de celle-ci, et s'échappe par un tuyau qui surmonte le compartiment supérieur. L'échange de chaleur se fait suivant la loi des mélanges ; un calcul très-simple et qu'on trouve dans tous les traités élémentaires de physique fera connaître la quantité d'eau nécessaire pour obtenir un refroidissement déterminé de l'air.

En principe cet appareil nous paraît avoir un désavantage sur le précédent en ce qu'il exige un excès de pression de l'air nécessité par son passage à travers la couche d'eau qu'il doit traverser.

2280. MM. Geneste fils et Herscher frères ont employé pour le refroidissement de l'air une tour cylindrique en maçonnerie remplie de menu coke arrosé constamment par un tourniquet hydraulique alimenté d'eau froide ; l'air circulait dans cette tour en sens inverse du courant d'eau. Ici encore il y a une perte de charge sensible par le passage de l'air au travers d'une épaisse couche de coke ; mais si

la section horizontale de la tour à coke est grande, la vitesse de l'air pourra être assez faible pour que la perte de charge soit notablement atténuée ; il y a enfin dans cette disposition un refroidissement méthodique qui permet de réduire la quantité d'eau au minimum.

CHAPITRE IV

Refroidissement des corps au-dessous de la température ambiante. Production et conservation de la glace.

2281. Le refroidissement d'un corps au-dessous de la température ambiante, abstraction faite de certaines actions chimiques, peut être produit par le contact du corps, 1° avec de l'air qui se sature de vapeur d'eau ; 2° par le rayonnement vers le ciel pendant les nuits sereines ; 3° avec de la glace ou des mélanges frigorifiques ; 4° par des moyens artificiels basés sur l'emploi de la chaleur et des changements d'état ou sur l'emploi des actions mécaniques.

2282. *Refroidissement par l'évaporation.* — Lorsqu'un courant d'air sec, ou seulement non saturé, passe sur un liquide, l'évaporation en abaisse la température ; cet abaissement est indépendant de la vitesse de l'air. D'après les expériences faites par Gay-Lussac, l'air étant parfaitement sec, et sa température, ainsi que celle du liquide, étant de

0°, 5, 10, 15, 20, 25

les abaissements obtenus ont été de

5° 82 ; 7° 27 ; 8° 97 ; 10° 82 ; 12° 73 ; 14° 70.

Mais si l'air était déjà en partie saturé de vapeur d'eau, l'abaissement de température serait beaucoup plus petit ; dans les mêmes circonstances, on peut regarder cet abaissement comme proportionnel à la quantité de vapeur dont l'air peut se charger. Ainsi, dans les cas les plus ordinaires, l'air étant à moitié saturé, le refroidissement serait moitié de celui que nous avons indiqué.

2283. Si le corps qui doit être refroidi était de l'eau, tous les appareils que nous avons indiqués dans le chapitre précédent pourraient être employés. Mais, si le liquide était autre et si son refroidissement ne pouvait pas avoir lieu par sa propre évaporation, il faudrait le faire circuler lentement dans un système de tuyaux mé-

talliques dont les surfaces extérieures, recouvertes de toile, seraient parcourues par de petits filets d'eau, dont on accélérerait l'évaporation au moyen d'un courant d'air produit par un ventilateur.

2284. Nous avons dit dans le chapitre précédent comment on peut refroidir l'air au contact de l'eau ; on pourrait craindre que le procédé n'amenât la saturation de l'air, ce qui pourrait dans certains cas être un inconvénient ; l'air en effet est presque toujours saturé dans ces conditions, mais on peut remarquer que dans les conditions ordinaires cette saturation sera complétement indépendante du procédé employé et qu'elle résultera de la quantité d'eau qui était contenue dans l'air à rafraîchir. Nous avons vu en effet (1698) qu'un mètre cube d'air, pour être saturé, contient aux températures de

5° 10° 20° 30°

les quantités de vapeur suivantes :

$0^k,007$ $0^k,009$ $0^k,017$ $0^k,031$

Si donc de l'air à 20° dont la fraction de saturation est de 0,50 est ramené à 10°, il contiendra $0^k,0085$ d'eau et sera bien voisin de la saturation ; si l'air est à 30° et dans les mêmes conditions d'humidité, lorsqu'on l'amènera à 10°, non-seulement il sera saturé, mais il laissera déposer $\frac{0,031}{2} - 0,009 = 0^k,0065$ d'eau ; c'est ce dernier cas qui se produira le plus fréquemment ; il faudrait donc se garder de croire qu'on obtiendrait l'air non saturé en le mettant à l'abri de l'eau et en le faisant circuler dans des tuyaux refroidis extérieurement ou réciproquement. L'eau que l'air laisserait bientôt déposer sur ces tuyaux dans le cas d'un refroidissement un peu notable serait la preuve de sa saturation.

2285. M. Baumhauer, d'Amsterdam, membre du jury de l'exposition universelle de 1855, a présenté un appareil destiné au refroidissement de l'air des appartements. Cet appareil se compose d'un cylindre dans lequel de l'eau tombe très-divisée à travers un courant d'air marchant dans le même sens, et qui s'écoule ensuite dans une cheminée d'appel chauffée par un bec de gaz ; ce cylindre est environné d'un autre, ouvert par les deux bouts, renfermant des toiles métalliques transversales destinées à transmettre le refroidissement à l'air qui descend entre les deux cylindres par le seul effet de l'abaissement de la température.

2286. MM. Geneste fils et Herscher frères ont employé une dispo-

sition qui permet d'obtenir un abaissement notable de la température de l'eau en la mettant en contact avec de l'air maintenu sec et ils ont appliqué leur système au refroidissement de l'air. Voici l'appareil qu'ils emploient à cet usage. Il se compose d'une série d'éléments superposés à une petite distance les uns des autres et formant une colonne verticale entourée d'une cheminée cylindrique qui laisse un canal annulaire entre les éléments et la cheminée. Chaque élément est formé d'un vase cylindrique annulaire dont l'enveloppe extérieure est poreuse et dont l'enveloppe intérieure est métallique; la partie annulaire renferme de l'eau, la partie cylindrique intérieure est ouverte en haut et en bas pour la circulation de l'air. Autour de ce premier vase s'en trouve un autre de même hauteur, annulaire aussi, dont l'enveloppe extérieure est métallique et pleine, et l'enveloppe intérieure est formée d'une toile métallique ; celle-ci se trouve à quelques centimètres de l'enveloppe extérieure du vase poreux; l'espace annulaire compris entre les deux enveloppes est rempli de chlorure de calcium; entre deux éléments successifs se trouve placé un support à double enveloppe de même diamètre extérieur que l'élément de façon à constituer une seule colonne cylindrique placée dans l'axe de la cheminée. L'eau qui suinte à travers le vase poreux s'évapore rapidement au contact de l'air desséché sous l'influence du chlorure de calcium, et se refroidit fortement. On peut ainsi obtenir un abaissement de température de 15°. L'air qui se trouve dans la partie cylindrique placée dans l'axe de la cheminée se refroidit au contact de la paroi des vases occupés par l'eau et acquiert un excès de densité fournissant une pression qui permettra de le refouler dans les lieux à rafraîchir.

Le chlorure de calcium sec absorbe promptement l'humidité, fond dans son eau et tombe en *deliquium*, le liquide qui en résulte est recueilli et il faut régénérer le chlorure sec en faisant évaporer l'eau au moyen de la chaleur ; il faut de plus renouveler dans les vases le chlorure qui a été enlevé par la dissolution.

Dans l'absorption de la vapeur d'eau par le chlorure de calcium, il y a dégagement de la chaleur latente que l'eau avait absorbée pour s'évaporer, de sorte qu'il y a échauffement du chlorure de calcium et du vase qui le renferme. Cet échauffement serait un inconvénient capital si l'élément plongeait tout entier dans l'air qu'il s'agit de refroidir, car la chaleur que lui enlèverait l'eau serait restituée par le chlorure de calcium ; mais comme nous l'avons dit l'air à refroidir ne circule qu'à l'intérieur de l'élément; la surface extérieure

forme avec la surface intérieure de la cheminée les parois d'un canal dans lequel se trouve de l'air qui s'échauffe et par suite détermine un appel qui peut être utilisé pour faciliter la ventilation et enlever l'air de la pièce où on amène l'air froid.

2287. Dans certains cas, on peut activer l'évaporation en se servant d'un courant d'air dû à la ventilation naturelle ; c'est le cas des caves de Roquefort, taillées dans un roc poreux et humide, et s'étendant du nord au sud ; des ouvertures sont pratiquées aux deux extrémités pour la circulation de l'air et on obtient ainsi des courants dont l'énergie est suffisante pour éteindre une bougie ; on obtient ainsi un abaissement relativement à l'extérieur qui est moyennement de 10°.

2288. On pourrait produire pour l'eau, par son évaporation dans le vide, un refroidissement beaucoup plus considérable que par l'évaporation due au renouvellement de l'air ; mais nous ne parlerons de ce moyen de refroidissement que quand il sera question de la congélation de l'eau.

2289. *Refroidissement des corps par le rayonnement vers le ciel, pendant les nuits sereines.* — Lorsqu'un corps doué d'un grand pouvoir rayonnant est exposé dans un lieu découvert, pendant une nuit calme et sereine, il éprouve un refroidissement, dû à ce que l'enceinte planétaire est à une très-basse température.

Le refroidissement serait beaucoup plus considérable si l'air, la terre et la condensation de la vapeur d'eau à la surface du corps ne lui restituaient pas une partie de la chaleur qu'il perd. Par conséquent, pour obtenir par ce moyen un grand refroidissement, il faut que le pouvoir émissif de la surface soit maximum, et que le corps soit supporté par d'autres très-mauvais conducteurs.

2290. Depuis un temps immémorial, on fait au Bengale de la glace par un procédé fondé sur le rayonnement nocturne. On place des vases de terre peu profonds, pleins d'eau, sur des couches de cannes à sucre ou de tiges de maïs non comprimées ; lorsque, pendant la nuit, le ciel a été pur, l'air calme, et que la température de l'atmosphère s'est abaissée au-dessous de 10°, on trouve le matin l'eau congelée. M. Wels a essayé ce procédé en Angleterre, pendant l'été, et il a parfaitement réussi à fournir de la glace, mais le prix de la main-d'œuvre beaucoup plus élevé en Europe qu'aux Indes n'a permis la réalisation industrielle de ce procédé ni en Angleterre, ni en France où il a été successivement essayé.

2291. *Refroidissement de l'air par le contact de la glace ou des*

mélanges frigorifiques. — J'ai donné, dans les notes placées à la fin du premier volume, un tableau des effets produits par différents mélanges frigorifiques ; j'indiquerai ici les dispositions les plus convenables de l'appareil qu'il faudrait employer pour refroidir l'air au moyen de la glace.

2292. Les figures 588 et 589 représentent une coupe verticale et une coupe horizontale de l'appareil en question. A est un tuyau vertical parcouru par l'air qui doit être refroidi ; BB, un vase annulaire qui renferme la glace ; ce vase a une double enveloppe CC, remplie d'édredon, de ouate, de son, ou de paille hachée ; un tuyau à robinet D laisse écouler dans le vase E l'eau produite par la liquéfaction de la glace. La paroi intérieure du vase B est en fonte et porte plusieurs rangées d'appendices dirigés dans le sens des rayons, d'une petite hauteur, et disposés de manière que ceux qui appartiennent à deux rangées successives ne soient pas dans le même plan. Par cette disposition, le vase plein de glace peut n'avoir qu'une petite hauteur, et cependant refroidir très-rapidement l'air qui le traverse.

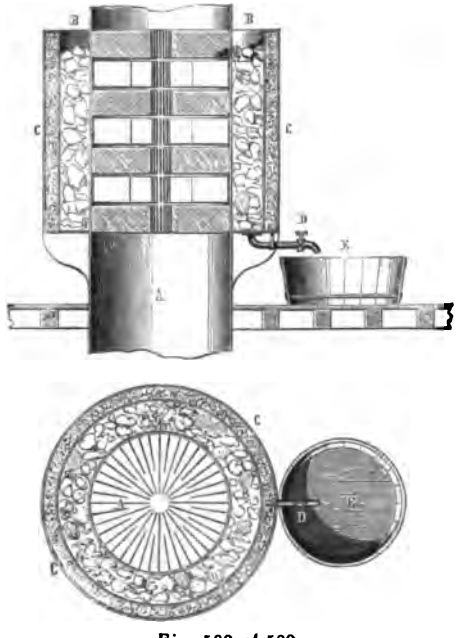


Fig. 588 *et* 589.

2293. Mais lorsque l'air ne doit être refroidi que d'un petit nombre de degrés, et qu'il ne doit pas être amené à une température inférieure à 10°, il est beaucoup plus avantageux de le faire circuler dans des conduits placés dans le sol à une profondeur suffisante. C'est la méthode la plus convenable pour rafraîchir l'air, pendant l'été, dans les pays chauds ; l'air pourrait être lancé par un ventilateur à force centrifuge, et le travail d'un seul homme suffirait à la ventilation d'une pièce renfermant de 50 à 60 personnes, si la vitesse de l'air dans le canal ne dépassait pas 2 ou 3 mètres.

Il faut observer cependant que ce moyen ne fournirait de résultats

utiles qu'autant que le refroidissement à opérer serait faible, car le sous-sol ne conserve une température basse en été qu'à cause de la mauvaise conductibilité du sol ; si donc on faisait passer une quantité un peu considérable d'air relativement chaud dans des tuyaux placés au-dessous du sol, les parois de ces tuyaux se seraient bientôt mis en équilibre de température avec l'air lui-même et le refroidissement serait alors impossible.

2294. MM. Geneste fils et Herscher frères ont étudié pour le refroidissement de l'air un appareil dans lequel on emploie comme source frigorifique un mélange réfrigérant d'eau et d'azotate d'ammoniaque.

L'appareil se compose d'une grande caisse prismatique en fonte, placée horizontalement ; elle a 4 mètres de longueur, et sa largeur et sa hauteur sont toutes deux de 1 mètre ; elle est fermée de toutes parts, et c'est elle qui contient le mélange réfrigérant ; elle est traversée dans toute sa longueur par quatre tubes de $0^{m},30$ de diamètre qui servent au passage de l'air à refroidir. La caisse est plongée dans un bac de section un peu plus large, de façon à laisser entre la caisse et le bac un vide de $0^{m},6$ environ ; ce vide est rempli d'eau ; l'eau baigne les quatre faces latérales de la caisse ; à une de ses extrémités, la caisse est surmontée d'un entonnoir qui sert à y introduire de l'azotate d'ammoniaque d'une façon continue ; l'eau de la bâche extérieure pénètre dans cet entonnoir par des trous placés latéralement, fond le sel, se refroidit et s'introduit ensuite dans la caisse ; la bâche extérieure est alimentée d'eau d'une façon régulière par l'extrémité du bac opposée à l'entonnoir ; la dissolution d'azotate d'ammoniaque sort aussi de la caisse du même côté. Dans ces conditions, l'eau arrivant dans la bâche à 15° environ, se refroidit sensiblement de 10° en circulant dans cette bâche au contact des parois de la caisse ; elle arrive à + 5° en contact avec l'azotate d'ammoniaque et elle s'abaisse alors sensiblement à la température de — 10° ; cette dissolution se réchauffe méthodiquement par suite du contact de l'air à l'intérieur des tubes et de l'eau à l'extérieur de la caisse qui cheminent en sens inverse de la dissolution ; celle-ci en sortant de la caisse à une température voisine de celle de l'eau d'alimentation se rend dans le régénérateur.

Celui-ci se compose de deux parties : l'évaporateur et le cristallisoir. L'évaporateur est une simple chaudière ouverte à la partie supérieure, placée dans un fourneau en briques ; on y fait arriver la dissolution, qu'on porte à la température de 100°, de façon à la con-

centrer et à ce qu'elle soit à peu près saturée à cette température; elle sort d'une façon continue de la chaudière pour se rendre dans le cristallisoir; celui-ci est formé d'un cylindre à double enveloppe dans laquelle circule la dissolution avant de se rendre dans l'évaporateur; la dissolution concentrée arrive dans l'axe du cylindre et coule sur une calotte pleine qui la distribue sur toute la paroi intérieure, le long de laquelle elle coule en se refroidissant; les cristaux formés sont retenus par une grille placée au bas du cylindre, une porte latérale permet de les recueillir; l'eau mère traverse la grille et tombe dans une bâche inférieure où on peut la reprendre pour la ramener à la chaudière. On voit que le fonctionnement de l'appareil est continu.

L'emploi de l'azotate d'ammoniaque présente cet inconvénient que ce sel se décompose peu à peu dans les opérations successives auxquelles il est soumis; on s'oppose à cette décomposition en ajoutant au sel 10 p. 100 environ de chlorhydrate d'ammoniaque. Dans ces conditions on peut régénérer le sel presque indéfiniment.

Les tubes intérieurs servant au passage de l'air se couvrent intérieurement de givre qui irait grossissant et pourrait obstruer les tubes si on ne l'enlevait pas; on y arrive en établissant dans l'axe de chaque tube une hélice métallique animée d'un mouvement de rotation lent et qui racle la surface intérieure des tubes en même temps qu'elle rejette la glace à une des extrémités; la force motrice à employer pour faire marcher les parties mobiles de cet appareil est presque nulle, et l'on n'a besoin que de combustible pour produire l'abaissement de température requis. Ces dispositions peuvent rendre des services dans certains cas, mais elles ne constituent pas un procédé économique pour obtenir le froid. Un calcul très-simple permet de s'en rendre compte. Un mélange de parties égales d'eau et d'azotate d'ammoniaque produit un abaissement de température de 26°; en évaluant à 0,25 la capacité calorifique de l'azotate d'ammoniaque, on voit qu'on a produit ainsi $26 \times 1,25 = 32,5$ calories négatives par kilogramme d'eau entrant dans le mélange; or, pour régénérer le sel il faut évaporer l'eau du mélange et dépenser environ 630 calories; ce qui fait 19 calories positives à dépenser pour obtenir une calorie négative.

2295. En Amérique, où l'on fait un usage régulier de la glace, on s'en sert pour maintenir frais les aliments, viande, lait, beurre, etc. On emploie pour cela des glacières domestiques, qui sont des caisses

à double enveloppe ; l'intervalle entre les deux enveloppes est garni de matière mauvaise conductrice ; la caisse est munie d'un couvercle épais en bois ; l'intérieur de la caisse est métallique. On place la glace qui doit servir à la consommation journalière au fond de cette caisse. Un petit tuyau permet l'écoulement de l'eau de fusion ; des rayons placés au pourtour de la caisse reçoivent les objets qu'il s'agit de maintenir frais.

2296. M. Tellier a imaginé sous le nom de garde-manger frigorifique un appareil représenté figure 590 ; il se compose d'une caisse à double enveloppe, comme la glacière américaine ; mais il en diffère

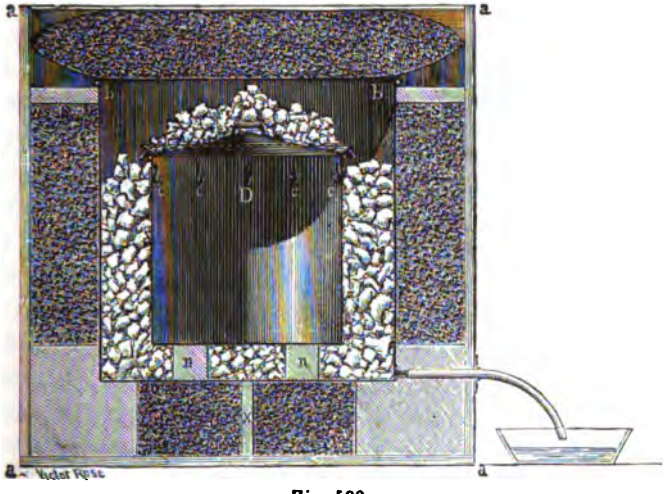


Fig. 590.

en ce que la capacité D, qui doit renfermer les objets à conserver, est entourée de glace concassée ; les objets peuvent être pendus à des crochets C ou placés sur une étagère ; au point de vue du double usage qu'on se propose en Amérique, la disposition qu'on y a adoptée, plus simple que celle de M. Tellier, nous paraît préférable.

M. Tellier estime que la consommation de glace pour un de ses appareils dont la contenance est de 1 hectolitre, est de 3 kilogrammes de glace en vingt-quatre heures, auxquels il faut ajouter un kilogramme de glace pour 5 kilogrammes du produit conservé, la température moyenne extérieure étant de 18°.

La figure 591 représente une disposition que M. Tellier propose d'adopter pour conserver dans les boucheries la viande à une température voisine de zéro, sans la congeler. Cette disposition n'est que

la reproduction sur une échelle plus grande de celle qui précède ; l'eau de fusion de la glace est enlevée au moyen d'une pompe à main.

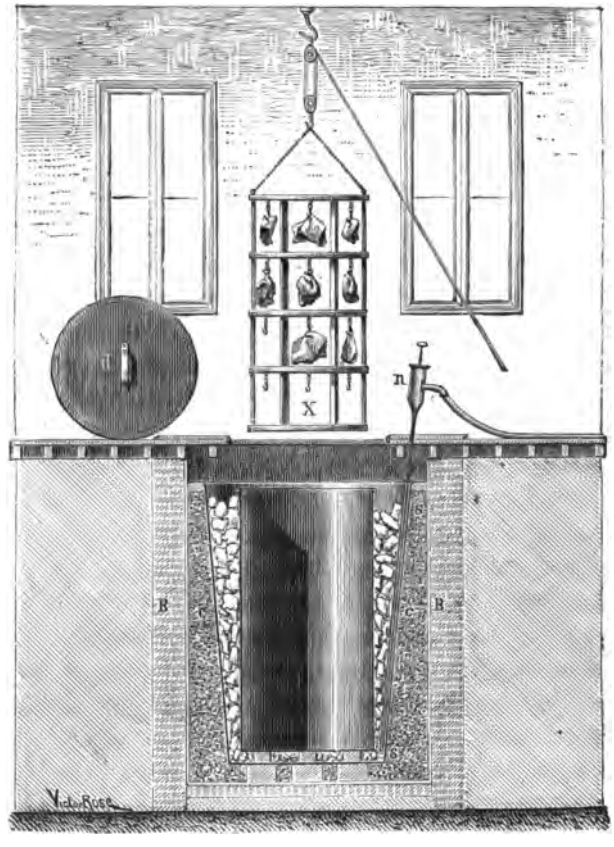


Fig. 591.

2297. *Récolte de la glace.* — Dans les contrées où la glace n'est pas d'un usage très répandu, ou pour lesquelles le froid est peu intense en hiver, on se contente de briser la glace au moyen de pics et de crocs ; les morceaux de dimensions irrégulières sont ensuite placé dans des bateaux et transportés sur le bord de l'étang où la glace a été recueillie, et de là à la glacière.

2298. Dans les pays comme l'Amérique du Nord, où la consommation de la glace est régulière, où il se fait une exportation considérable de cette substance, où les hivers sont longs et réguliers, la récolte de la glace peut se faire d'une façon parfaitement industrielle.

Dans le voisinage de Boston, c'est dans le courant du mois de février que se fait la principale partie de la récolte ; aux environs de New-York, c'est plutôt en janvier que se fait ce travail ; la durée pendant laquelle se fait la récolte dans ces régions ne dépasse pas vingt jours ; pendant cette période le travail se fait jour et nuit.

Au début de l'hiver, quand la glace commence à se former, des hommes passent sur sa surface dès qu'elle est assez forte pour les porter et y pratiquent des trous de distance en distance. Cette opération a pour but d'activer la formation de la glace par le passage de l'eau à travers ces trous ; cette eau vient se répandre à la surface et se congèle rapidement ; cette disposition paraît aussi accélérer la formation de la glace au-dessous de la couche.

Il est important d'enlever la neige qui peut recouvrir la glace et qui s'oppose à une marche convenable de la congélation ; cette opération se fait au moyen de râteaux en bois, qui sont traînés par un ou deux chevaux. Si la neige est tombée en si grande abondance qu'elle fait enfoncer la glace, l'eau passe à la surface, se mêle à la neige et il se forme alors de la glace de neige, qui n'est point propre à la vente. Cette neige glacée est enlevée au moyen d'un couteau en acier horizontal fixé à un bâti en fer et traîné par deux chevaux. L'homme qui mène les chevaux est assis sur la machine et en augmente le poids ; on enlève par le passage de ce couteau une lame de neige glacée de 5 centimètres d'épaisseur et de $0^m,55$ de large ; on renouvelle ce passage autant qu'il est nécessaire.

On commence à couper la glace quand elle a acquis une épaisseur de $0^m,15$ au moins ; cette épaisseur est nécessaire pour que la glace puisse porter les machines destinées à l'exploitation et les chevaux qui les mènent ; les épaisseurs des blocs obtenus sont variables avec la marche du froid dans la saison ; quelquefois l'épaisseur des blocs obtenus est de $0^m,50$ à 0,60 ; elle est le plus souvent de $0^m,30$ à $0^m,40$. La glace la plus épaisse est réservée pour l'embarquement ; celle qui l'est moins, pour la consommation sur place.

La surface de la glace étant parfaitement débarrassée de neige, elle est ensuite *marquée;* cette opération consiste à tracer sur la glace des raies peu profondes, suivant deux directions rectangulaires, de façon à en diviser la surface en carrés de $0^m,55$ de côté, ou en rectangles de $0^m,55$ sur $0^m,65$; on trace pour cela deux traits rectangulaires à la main, en faisant passer un ciseau le long d'une règle mise à plat sur la glace, et cela dans toute l'étendue de l'étang ; après quoi, on fait passer le *marqueur* traîné par un cheval et qu'un

homme dirige à la main en se guidant sur les raies déjà faites; quand la glace a été ainsi divisée par de petits sillons peu profonds, on y fait passer la charrue à glace dont le fer est formé de couteaux verticaux superposés et dont chacun entame la glace de $0^m,006$ environ; on pénètre ainsi dans la glace de $0^m,05$ environ à chaque passage de la charrue; on attaque ainsi à peu près la moitié de l'épaisseur de la glace et on achève la séparation au moyen de scies à main; les morceaux séparés sont amenés au bord en les tirant à la surface de l'eau, et placés ensuite sur les plans inclinés qui les dirigent vers les magasins.

2299. *Conservation de la glace.* — Dans les pays tempérés et dans les pays chauds où l'on peut recueillir de la glace pendant la saison la plus froide de l'année, on la conserve dans des espèces de citernes qu'on désigne sous le nom de *glacières*. Les glacières sont creusées dans le sol; elles ont en général la forme d'un tronc de cône renversé, dont les parois sont formées d'une maçonnerie épaisse recouverte d'une couche de ciment, de manière que l'eau ne puisse pas les traverser. A la partie inférieure se trouve une grille, et au-dessous un puisard, dans lequel se réunissent les eaux qui proviennent de la fusion de la glace, et d'où elles s'écoulent, soit naturellement à travers les terres, soit par des conduits qui les amènent au jour par une pente continue, quand les glacières sont creusées sur le penchant d'une colline. L'orifice de la glacière est recouvert par une voûte épaisse en maçonnerie, ou par une charpente recouverte de plusieurs couches de chaume. L'entrée est toujours placée au nord; elle est formée d'un couloir avec une porte à chaque extrémité, et ordinairement entourée d'arbres qui empêchent les rayons solaires d'y arriver. La glace doit être recueillie pendant un temps sec. On couvre d'abord la grille du puisard, et toute la surface des parois, d'une couche épaisse de paille longue; c'est sur cette couche que l'on place la glace, en la disposant de manière à laisser entre les blocs le moins d'intervalle possible. On peut aussi employer de la neige, mais il faut la comprimer fortement, de manière à former des blocs rectangulaires que l'on serre les uns contre les autres. La glace est ensuite recouverte d'une couche de paille, sur laquelle on met des planches ou des pierres.

2300. Malgré toutes les précautions employées pour empêcher la chaleur des corps environnants de pénétrer dans la glacière, on perd toujours, pendant chaque saison, une partie de la glace, et cette perte, relativement à la masse qui a été recueillie, est tou-

jours d'autant plus grande que la glacière est plus petite; car la perte est proportionnelle à la surface, et les surfaces des corps semblables dont les dimensions augmentent croissent dans un plus petit rapport que les volumes. La première année qu'on se sert d'une glacière, on éprouve un déchet beaucoup plus grand que dans les années suivantes; il arrive même quelquefois, quand la maçonnerie n'a pas eu le temps de sécher, qu'on ne conserve point de glace.

2301. On donne ordinairement aux grandes glacières 4 à 5 mètres

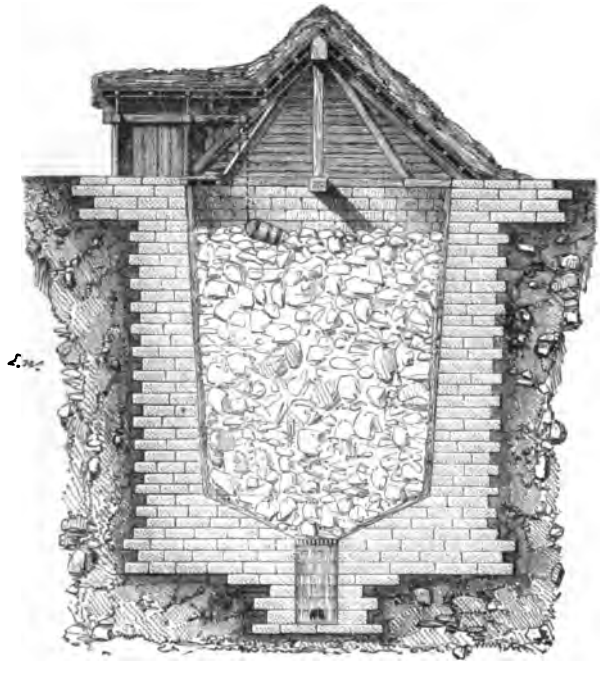


Fig. 592.

de diamètre, et 7 mètres de profondeur. La figure 592 représente la coupe verticale d'une glacière.

2302. La figure 593 représente une coupe verticale d'une petite glacière américaine, d'une construction très-simple, et qui peut suffire à une nombreuse famille. A est une excavation de 2 mètres en tous sens, creusée dans le sol; *b* est une rigole pratiquée au fond de l'excavation, et qui sert à l'écoulement de l'eau provenant de la fusion de la glace; *c*, *c*, pièces de bois de $0^m,15$ d'équarrissage et de 2 mètres de longueur, placées au fond de l'excavation, et qui s'appuient sur le sol par leurs extrémités; *d*, traverses posées sur les

poutres *c;* elles servent à supporter un certain nombre de solives de $0^m,05$ d'équarrissage et de 2 mètres de longueur; *f, f,* montants de $0^m,08$ d'équarrissage, s'appuyant par leurs extrémités inférieures sur le fond de la glacière, et s'élevant jusqu'à sa partie supérieure; *g,* lattes de $0^m,04$ d'épaisseur, formant le revêtement des parois de la glacière, et clouées sur les montants *f;* une garniture de paille de $0^m,08$ d'épaisseur est attachée sur les lattes; G, glace remplissant l'excavation; *e, e,* quatre poutres de $0^m,16$ d'équarrissage et de 3 mètres de long, destinées à soutenir la terre amoncelée au-dessus de la glacière; *l,* lattes placées en travers sur les poutres *e, e,* et

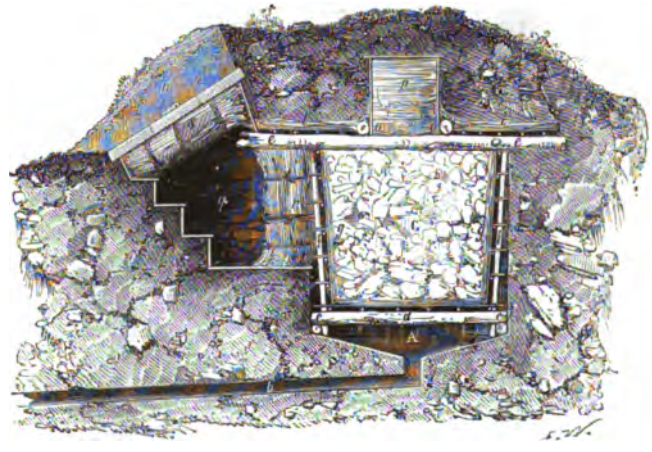


Fig. 593.

recouvertes d'un lit de paille; *n,* tertre d'un mètre de hauteur, surmontant la glacière; *p,* trou carré creusé dans le tertre et revêtu de planches pour former une caisse qu'on remplit de paille; *q,* entrée, dirigée au nord; quelques marches de 1 mètre de largeur à l'extrémité libre, et de $0^m,4$ seulement à l'autre bout conduisent à la porte de la glacière recouverte de bottes de paille très-serrées, *r; s,* trappe revêtue de paille et fermant l'entrée de la glacière.

2303. Une glacière ayant les dimensions indiquées peut contenir 4,000 kilogr. de glace. On ne doit y entrer que le soir ou le matin, une seule fois par jour. Pour retirer la glace, on fait dans le revêtement en paille un trou seulement suffisant pour y passer le bras.

2304. On a employé avec succès, mais seulement pour rafraîchir des liquides, la disposition suivante : un tonneau cerclé de fer, de 2 mètres de hauteur et de 1 mètre de diamètre, est placé dans une ex-

cavation creusée dans le sol d'une cave; il est environné d'une ceinture de 0m,10 de cendres fortement tassées. Le tonneau est garni d'un double fond percé de trous, et l'intervalle des deux fonds, d'un tube qui conduit l'eau provenant de la fusion de la glace dans un seau, placé au fond d'un puisard, et qu'on remonte à l'aide d'une corde lorsqu'il est rempli. On ferme la glacière au moyen d'un vase en bois, d'une petite hauteur, rempli de cendres pressées, garni de larges rebords couverts en dessous d'une étoffe de laine grossière, et suspendu à une corde qui, après avoir passé sur deux poulies, se termine par un contre-poids. Pour remplir la glacière, on commence par placer au milieu un piquet, autour duquel on comprime la glace, et qu'on enlève après. Cette disposition est bien entendue, mais il serait plus avantageux de remplacer la cendre par de la paille hachée, d'augmenter l'épaisseur de cette matière autour du tonneau et d'en placer au-dessous; si le sol de la cave était humide, il serait avantageux d'environner le tonneau d'une enceinte imperméable, en briques, dans laquelle serait placée la paille hachée.

2305. Je pense qu'il y a peu de modifications à introduire dans les grandes glacières; car, avec les précautions connues, on obtient tout l'effet qu'on peut espérer. Seulement, il est important de leur donner les plus grandes dimensions possibles, car la quantité annuelle de glace fondue par la transmission de la chaleur à travers le sol augmente proportionnellement à la surface intérieure de la glacière; et, comme nous l'avons déjà dit, ces surfaces augmentent dans un plus petit rapport que les volumes. Il est aussi plus important qu'on ne l'avait pensé de préserver les glacières du contact des terres humides, même de celles dans lesquelles l'eau est stagnante; car la terre humide conduit beaucoup mieux la chaleur que la même terre desséchée.

2306. Dans l'île Bourbon, les glacières sont en plein vent; elles contiennent ordinairement 200,000 kilogrammes de glace. La glace est environnée d'une couche de tan de 3 pieds d'épaisseur; une seconde enveloppe, séparée de la première par un espace vide de un pied, est également formée de tan, mais de 1 pied seulement d'épaisseur. La glace est en gros morceaux; les intervalles sont remplis de tan. La perte est de 0,25 en trois mois.

2307. Dans l'Amérique du Nord, où le commerce de la glace a pris une extension énorme, on construit pour emmagasiner celle-ci de grands bâtiments qui peuvent contenir jusqu'à 60,000 tonnes de glace; ils sont le plus souvent en bois à cause du bon marché

relatif que présente cette matière ; les murs sont formés d'une double rangée de madriers verticaux qu'on recouvre de planches en laissant les madriers apparents ; l'intervalle formé entre ces deux parois a $0^m,30$ à $0^m,35$ de large ; on le remplit de sciure de bois et accidentellement de menue paille de riz ; quelquefois on emploie la sciure de bois mêlée de charbon de bois pulvérisé ; autrefois on employait le tan épuisé et humide ; on y a renoncé parce qu'on a constaté avec cette substance une préservation moins bonne qu'avec la sciure de bois. La glace amenée du lieu voisin où on la recueille est élevée au moyen de chaînes sans fin et de plans inclinés à la partie supérieure de ces bâtiments où se trouvent les portes de chargement, et les blocs sont ensuite rangés et superposés dans l'intérieur ; quand le chargement est complet, on recouvre la glace d'une couche de foin ou de paille de $1^m,25$ à $1^m,50$ d'épaisseur et on ferme les portes avec soin.

2308. Dans les états du Nord, on fait peu de bâtiments en briques pour conserver la glace ; la raison est que le prix en est plus élevé ; cependant ils présentent plus de durée et ils sont moins sujets à l'incendie.

Dans les états du Sud au contraire, où la glace a un prix plus élevé, on construit ces bâtiments en briques ou en pierres ; leurs murs sont formés de trois ou quatre murailles parallèles laissant entre elles des intervalles libres ou remplis de substances peu conductrices, comme la paille, etc.

2309. A Calcutta, une glacière construite par M. Wyeth de Cambridge (Massachusset) peut contenir 30,000 tonnes de glace, elle a 60 mètres de long, 54 mètres de large et les murs ont 12 mètres de hauteur ; ceux-ci sont en briques, ils sont triples et présentent par conséquent deux couches d'air qui agissent efficacement pour l'isolement. Le bâtiment est couvert au moyen de cinq toits superposés laissant entre deux toits successifs une couche d'air pour l'isolement.

2310. Le transport de la glace, soit aux Indes occidentales, soit dans les provinces méridionales de l'Union, dans les Antilles et dans l'Amérique du Sud, forme dans l'Amérique du Nord une branche de commerce fort importante. C'est principalement de Boston que partent les navires chargés de glace. Celle-ci, après avoir été retirée des étangs et des rivières, est coupée, au moyen d'une machine, en blocs de 2 pieds carrés de surface, et d'une épaisseur d'un pied à 18 pouces, suivant l'intensité du froid ; ensuite on

l'empile dans des bâtiments construits au-dessous du sol. On prend peu de précautions pour transporter la glace aux Indes occidentales, voyage qui dure de dix à quinze jours. Le fond de la cale du navire et ses parois sont tapissés d'une couche de tan de 4 pouces d'épaisseur. La glace, après y avoir été placée, est couverte d'un lit très-épais de foin ; puis on ferme hermétiquement les écoutilles, et on ne les rouvre qu'au moment du déchargement. Pour transporter la glace aux Indes orientales, à Calcutta ou à Madras, il est nécessaire d'employer d'autres moyens afin de la conserver, pendant un trajet qui dure ordinairement cinq à six mois. Le récipient de glace, isolé de toute part, s'étend depuis l'écoutille d'avant jusqu'à l'écoutille d'arrière, sur une longueur de 50 pieds ; il est construit de la manière suivante : on dispose à fond de cale un plancher composé de planches d'un pouce d'épaisseur, sur lequel on répand un lit de tan ; on recouvre cette couche d'un autre plancher, et on construit de même les autres parois du récipient, qui doivent être entièrement isolées des parois du navire ; on isole de même la pompe et le grand mât. Les cubes de glace sont rangés l'un à côté de l'autre, le plus près possible, afin de laisser le moins d'espace entre eux et de former une masse solide du poids de 180 tonneaux environ. On recouvre cette masse d'un pied d'épaisseur de foin, qu'on comprime fortement, et le tout est mis à l'abri du contact de l'air par une couverture en planches. Entre cette couverture et le pont, on tasse fortement un lit de tan. Une espèce de flotteur, dont la tige passe à travers un tube gradué, s'appuie sur la surface de la glace et indique la dépression qu'elle éprouve par la fusion. La perte sur la quantité indiquée, 180 tonneaux, a été évaluée à 55 tonneaux dans le trajet de Boston à Calcutta (*Mechanics Magazine*, 1836).

2311. En 1838, une patente fut prise en Amérique par Tudor pour la conservation de la glace pendant son transport en mer ; le procédé consiste à remplir de sciure de bois les vides laissés entre les morceaux de glace ; ce procédé est celui qu'on suit actuellement, sans autre disposition spéciale du navire ; on dépose une couche de sciure entre la paroi du vaisseau et la glace, et on remplit de sciure les interstices que laisse la glace au chargement.

L'exportation de la glace d'Amérique sur l'Europe a presque complétement cessé ; cela tient à ce que la glace arrive plus facilement et plus rapidement de Norwége aux ports de France et d'Angleterre.

2312. *Production artificielle du froid.* — Dans les pays chauds et

dans ceux où les hivers sont peu réguliers ou peu froids, la glace naturelle revient à un prix très-élevé et on a cherché des procédés qui permissent soit d'en obtenir directement, soit de produire les effets qu'on peut en attendre, soit même de produire des refroidissements spéciaux pour lesquels la glace eût été d'un emploi peu avantageux. On peut ramener tous les moyens employés à trois catégories : 1° l'emploi des mélanges frigorifiques ; 2° l'emploi de la vaporisation d'un liquide ; 3° la détente d'un gaz comprimé.

Congélation de l'eau par les mélanges frigorifiques. — Dans tous ces mélanges, l'abaissement de température provient de la liquéfaction d'un ou de plusieurs des corps mis en contact. Les effets produits par un certain nombre de ces mélanges ont été indiqués dans les notes placées à la fin du premier volume.

2313. En 1845, M. de Villeneuve a présenté à l'Académie des sciences un appareil destiné à la congélation de l'eau par un mélange frigorifique, et sur lequel il a été fait un rapport favorable. Le mélange frigorifique employé était formé d'acide chlorhydrique et de sulfate de soude cristallisé. L'appareil se composait d'un premier vase en fer-blanc, légèrement conique, renfermant l'eau qui devait être congelée ; ce vase portait un pivot à sa partie inférieure, et une manivelle au-dessus du couvercle ; il était garni latéralement d'appendices en fer étamé. Un autre vase, également en fer-blanc, mais à double enveloppe, contenait le mélange frigorifique ; l'intervalle était rempli d'un corps mauvais conducteur. Ce dernier vase était percé à la partie inférieure d'une ouverture garnie d'une soupape conique, portant une crapaudine ; cette soupape pouvait être soulevée au moyen d'un levier. La partie supérieure de la double enveloppe était rétrécie de manière à toucher le cylindre intérieur et à lui servir de guide dans le mouvement de rotation qu'on lui imprimait à l'aide de la manivelle ; au-dessous de cet appareil se trouvait un récipient, également en fer-blanc, dans lequel tombait le mélange qui avait produit son effet ; il était percé de plusieurs ouvertures par lesquelles on introduisait des bouteilles à rafraîchir. Pour se servir de cet appareil, on remplit d'eau le vase mobile, et on introduit dans le vase enveloppant $1^k,500$ de sulfate de soude cristallisé, et $1^k,200$ d'acide chlorhydrique ; on tourne vivement la manivelle, et, après 5 à 6 minutes d'agitation, on fait écouler le mélange dans le récipient inférieur ; on le remplace par le même poids des mêmes matières, et, après 10 à 12 minutes d'agitation, on renouvelle le mélange, et, enfin, une troisième fois,

après 15 minutes d'agitation. La durée totale de l'opération est à peu près d'une heure, et on obtient 3 kilogr. de glace pour une consommation de 6 kilogr. de sulfate de soude et de $4^{k},80$ d'acide chlorhydrique. Le sulfate de soude coûtant environ 20 fr. les 100 kilogr., et l'acide chlorhydrique $9^{f},50$, 1 kilogr. de glace revient à 53 centimes.

2314. En 1846, M. Goubaud a présenté à la Société d'encouragement un appareil à congeler l'eau, disposé d'une autre manière, et dans lequel il emploie un autre mélange frigorifique. L'appareil se compose d'un seau en bois avec couvercle, destiné à recevoir le mélange réfrigérant; le vase de congélation est formé d'une boîte cylindrique de quelques centimètres de hauteur, en étain, fermée par un couvercle à vis, au fond de laquelle se trouvent soudés un grand nombre de petits tubes coniques en étain. L'appareil est surmonté d'une tige en fer qui traverse le couvercle en bois du seau, et porte une manivelle qu'on tourne à la main. Il est muni à la partie inférieure d'un pivot en fer qui s'engage dans une cavité centrale ménagée au fond du seau et entourée d'une lame en spirale destinée à agiter continuellement le liquide environnant. Pour se servir de cet appareil on remplit d'eau le vase d'étain ; on met dans le seau de l'eau et une proportion convenable du sel réfrigérant, et on agite vivement ; après 15 minutes, plus ou moins suivant la température primitive de l'eau, elle est congelée; pour extraire la glace, on enlève le vase d'étain, on le lave, on enlève le couvercle, et, par le renversement, la glace se détache. Une commission de la Société d'encouragement, qui avait été chargée d'examiner l'appareil en question, a obtenu, après 15 à 18 minutes, 500 gr. de glace, en employant $2^{kil},500$ de sel et $2^{lit},50$ d'eau à 12°. Le sel dissous dans l'eau peut facilement être ramené, par l'évaporation, à son état primitif. La concentration doit être prolongée jusqu'à ce que le liquide marque 36° au pèse-sel; par le refroidissement, le sel se prend en masse; on le fait égoutter. ensuite on le pulvérise pour l'employer de nouveau; les eaux mères sont mises à part, pour être réunies aux dissolutions des opérations suivantes. D'après les expériences faites par la commission dont je viens de parler, la perte de sel par l'évaporation est à peu près de 10 gr. par kilogramme; elle serait beaucoup plus grande si l'évaporation était trop rapide ou si on dépassait la limite assignée, parce qu'une partie du sel serait décomposée. M. Goubaud l'évalue de 10 à 15 gr., c'est-à-dire de 1 à 1,5 pour 100 ; et comme le sel est vendu 4 fr. le kilog., le prix de revient du kilogramme de glace, abstrac-

tion faite du prix de l'appareil et de celui de la concentration, est compris entre $0^{fr},04$ et $0^{fr},06$.

2315. En 1849, M. Fumet a présenté à la Société d'encouragement un appareil dans lequel il emploie les mêmes éléments de refroidissement, mais qui est moins bien disposé que celui dont nous venons de parler ; il est formé de deux vases cylindriques concentriques, entre lesquels le liquide à congeler est renfermé. C'est une mauvaise disposition, parce que le liquide réfrigérant intérieur n'est pas agité par le mouvement de rotation ; la surface externe n'a point d'appendices, et enfin le vase qui renferme le mélange de sel et d'acide n'est pas protégé du réchauffement extérieur par une enveloppe non conductrice.

2316. Le même glacier a imaginé un appareil pour conserver les aliments, en les maintenant à une basse température. C'est tout simplement une armoire à deux panneaux, en bois, dont les autres faces sont formées de surfaces parallèles en métal, et d'une enveloppe extérieure en bois, séparée de la paroi métallique par un petit intervalle rempli d'air qui ne se renouvelle pas. On met de la glace à la partie supérieure ; l'eau provenant de la fusion s'écoule entre les parois latérales, et sort par un tuyau qui se recourbe extérieurement, afin d'éviter le renouvellement de l'air intérieur.

2317. L'emploi du mélange de sulfate de soude et d'acide chlorhydrique est d'un usage peu commode et qui peut même être dangereux à cause de l'acide même qu'on emploie ; aussi a-t-on cherché à employer d'autres mélanges ; celui qui paraît actuellement généralement adopté est le mélange d'eau et d'azotate d'ammoniaque employés en parties égales en poids ; non-seulement ce mélange ne présente plus les inconvénients des mélanges acides, mais il présente cet avantage qu'il peut être régénéré en faisant évaporer l'eau du mélange réfrigérant après qu'il a servi.

Dans l'emploi des mélanges frigorifiques, il faut se préoccuper de la durée de la formation de la glace ; c'est qu'en effet le mélange, surtout si la température extérieure est élevée, se réchauffe rapidement et son action pour la formation de la glace doit être rapide pour avoir son effet le plus complet ; il est donc nécessaire de multiplier les surfaces de contact des vases qui contiennent l'eau à congeler avec le mélange réfrigérant ; c'est en effet ce qui a été réalisé dans les appareils qu'on emploie le plus généralement.

2318. La glacière Toselli se compose d'un cylindre métallique pouvant tourner autour d'un axe perpendiculaire à celui du cylindre ;

une manivelle sert à lui donner le mouvement. Ce cylindre porte deux fonds mobiles dont on fait le serrage au moyen d'une vis traversant une barre qui se fixe à ses extrémités dans deux oreilles attachées au cylindre; dans ce cylindre se place un congélateur formé de cylindres en métal mince dont une extrémité est fermée et dont l'autre ouverte est soudée sur une plaque circulaire : ces cylindres sont d'inégal diamètre et disposés de façon à ce que dans chacun d'eux se forme une couche de glace annulaire ; les diamètres sont calculés de telle façon que les cylindres annulaires ainsi obtenus dans une opération qui dure 5 à 6 minutes peuvent entrer les uns dans les autres et ne former qu'un seul bloc, en se soudant par le fait du *regel;* ces cylindres sont d'abord remplis d'eau ; puis renversés dans une caisse métallique, où ils sont placés suivant une certaine inclinaison convenablement déterminée, d'où il résulte qu'il ne reste dans les cylindres que la quantité d'eau nécessaire à produire la glace qui doit s'y former. Ce congélateur est placé dans le cylindre; on pose et on assujettit ensuite le couvercle du côté de la partie ouverte des cylindres du congélateur, puis, retournant l'appareil, on y introduit le mélange réfrigérant et on ferme la deuxième ouverture du cylindre extérieur; on fait alors tourner pendant 5 ou 6 minutes et la glace se trouve faite dans l'appareil. D'après M. Toselli, on peut calculer la glace obtenue dans un appareil déterminé par la formule $P = K (T_0 - T) P_0 \times 1,62$. Dans cette formule P_0 est le poids de l'eau qui sert à former le mélange réfrigérant, T sa température ; T_0 est l'abaissement de température que fournit le mélange ; soient 26 dans le cas du mélange d'eau et d'azotate d'ammoniaque, K un coefficient égal à 0,013 et P le poids de glace obtenue. Si on fait $P_0 = 1, T_0 = 26$, $T = 10$ ou $P = 0^k,332$. Soit en glace le tiers de l'azotate d'ammoniaque employé.

2319. La glacière Charles est formée d'un petit tonneau en bois dans lequel on met le mélange réfrigérant. On y introduit un congélateur en étain formé de tubes égaux soudés sur une calotte qui se ferme par un couvercle vissé, ce couvercle porte un axe qui traverse le couvercle en bois du tonneau; celui-ci étant fermé, on ajoute à l'axe une manivelle que l'on tourne pendant 12 ou 15 minutes; l'appareil est aussi disposé pour préparer les glaces, les sorbets, frapper les carafes, etc.

Pour régénérer le sel, on fait évaporer le liquide dans une capsule de fonte émaillée jusqu'à ce que l'aréomètre marque 36° dans cette dissolution; on verse ensuite dans une terrine, où la dissolution se

prend en masse ; on écrase ensuite cette masse avec un pilon.

2320. Les glaciers, pour congeler les sorbets, se servent de vases en étain ayant des couvercles fermant à vis, garnis d'une poignée. Ces vases, qu'on désigne sous le nom de *sorbétières*, renferment le liquide à congeler ; on les agite de temps en temps dans un mélange de glace et de sel marin, et on les ouvre pour détacher, avec une spatule en bois, la glace qui s'est formée à la surface intérieure. Cette opération est longue. M. Loefz a imaginé une disposition au moyen de laquelle la glace se forme avec une grande rapidité, et qui peut être employée avec un mélange frigorifique quelconque. Cet appareil, qui est maintenant très-répandu, permet de se servir de sorbétières ouvertes, et d'enlever d'une manière continue, et très-rapidement,

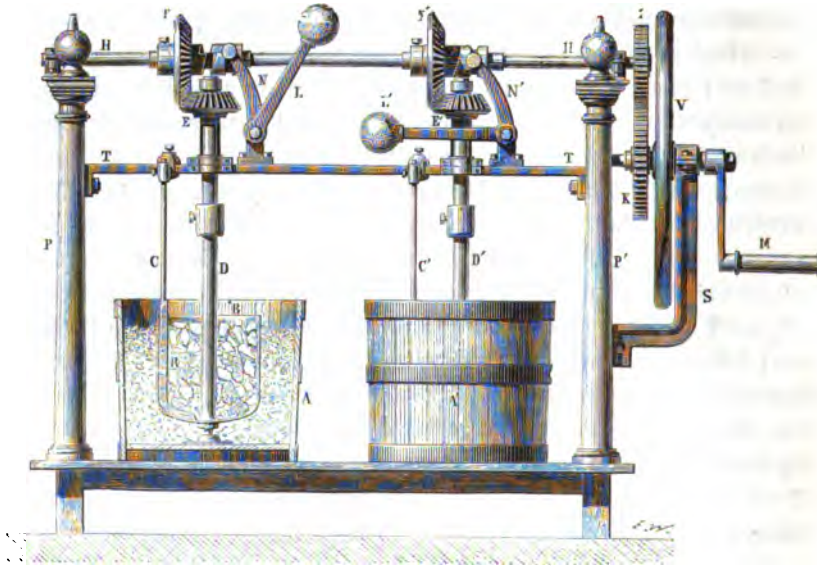


Fig. 594.

la glace qui se forme à la surface intérieure. Il est représenté dans la figure 594. A, vase de bois, renfermant le mélange de sel et de glace pilée ; le diamètre est d'environ $0^m,60$; la hauteur est également de $0^m,60$; B, sorbétière en étain de $0^m,006$ d'épaisseur, de $0^m,40$ de hauteur, et de $0^m,31$ de diamètre ; D, arbre en fer étamé qui traverse la sorbétière, à laquelle il est fixé, et qui se termine par un pivot tournant dans une crapaudine ; C, pièce en fer à biseaux suivant le contour de la surface intérieure des sorbétières, et fixé sur la tra-

verse TT. Le mouvement de rotation se donne au moyen d'une manivelle M, du volant V, de l'arbre H reposant sur les deux montants P, P', et d'une série d'engrenages E, F, I, K. Il y a ordinairement deux sorbétières mises en mouvement par la même manivelle ; mais chacune d'elles est pourvue d'un embrayage N, manœuvré par un levier à contre-poids L, comme l'indique la figure. Au moyen de cet appareil, en faisant faire à la sorbétière 300 tours par minute, on produit de 4 à 5 kilogr. de glace en 5 minutes, avec le travail d'un seul homme.

2321. *Refroidissement par la vaporisation d'un liquide.* — On sait que les liquides volatils en s'évaporant déterminent un abaissement de température d'autant plus notable que leur volatilité est plus grande ; les corps mis en contact avec le liquide devront se refroidir comme lui, et on pourra obtenir ainsi soit de la glace, soit un refroidissement spécial.

On peut séparer tous les appareils destinés à obtenir ce résultat en deux groupes principaux : Le premier comprend tous les appareils fondés sur le principe de l'expérience de Leslie, et dans lesquels on trouve un liquide volatil renfermé dans une capacité où on fait le vide et en communication avec laquelle se trouve un récipient contenant une substance qui absorbe les vapeurs du liquide, de façon à maintenir le vide et par suite la rapidité de l'évaporation. On pourrait employer l'eau comme liquide volatil et le chlorure de calcium comme absorbant. L'appareil se composerait de deux cylindres en fonte, placés verticalement, communiquant entre eux par leurs parties supérieures, environnés de matières non conductrices, renfermant, l'un de l'eau, l'autre du chlorure de calcium, et communiquant avec une puissante machine pneumatique. Lorsque le vide aurait été fait dans les deux cylindres, une évaporation rapide s'établirait, par suite de l'absorption de la vapeur par le chlorure de calcium, et refroidirait promptement l'eau au-dessous de 0°. Pour que l'évaporation se fît plus rapidement, il faudrait que l'eau, dans l'un des vases, fût constamment rejetée en pluie, et que le chlorure de calcium fût distribué sur des cloisons, de manière à présenter beaucoup de surface à la vapeur. Si les corps environnants ne restituaient pas de chaleur à l'eau, en la supposant primitivement à 10°, la congélation de 1 kilogramme d'eau exigerait l'émission de $10 + 79 = 89$ unités de chaleur, et, par conséquent, l'évaporation de $89 : 540 = 0^k,155$ d'eau ; mais comme il y aurait toujours de la chaleur fournie par les corps environnants, et surtout par le vase de condensation, la quantité de vapeur à fournir serait beau-

coup plus considérable. La dépense de travail pour produire et maintenir le vide serait peu importante, ainsi que la dépense de combustible pour la calcination du chlorure de calcium. Le degré de perfection qu'on a obtenu dans les appareils à cuire dans le vide, ne permet pas de douter qu'on arriverait très-facilement à maintenir le vide pendant le temps nécessaire à la congélation. Mais, de ces considérations générales à l'exécution, il y a encore loin, et des essais sur une assez grande échelle seraient indispensables, non-seulement pour s'assurer qu'on ne rencontrera pas des difficultés imprévues, mais encore pour étudier les détails de construction et pour déterminer approximativement le prix de revient de la glace obtenue.

Depuis l'époque où Péclet écrivait ces lignes, un assez grand nombre d'appareils ont été établis d'après ces principes, et un certain nombre d'entre eux prennent place parmi ceux qui fournissent actuellement les résultats les plus avantageux.

2322. M. Carré aîné prit, le 24 août 1859, un brevet pour la production du froid au moyen d'appareils divers qui se rapportent à ce principe. Les appareils de M. Carré, construits et perfectionnés par MM. Mignon et Rouart, peuvent être comptés parmi ceux qui produisent les meilleurs résultats.

L'ammoniaque liquéfiée est le liquide volatil qui a été choisi par M. Carré; elle peut être obtenue facilement; elle est très-volatile; elle bout à — 34° sous la pression ordinaire ; sa chaleur latente de vaporisation est d'environ 500 calories. L'eau a été choisie comme absorbant de l'ammoniaque ; on sait, en effet, qu'un volume d'eau dissout 783 volumes d'ammoniaque à 15°, et que cette dissolution se fait avec une rapidité énorme. L'appareil est donc fondé, comme on le voit, sur l'expérience de Faraday de la liquéfaction de l'ammoniaque. Faraday avait observé, pendant la réabsorption de l'ammoniaque par le chlorure d'argent contenu dans son appareil, que la branche qui contenait l'ammoniaque se refroidissait notablement, tandis que celle qui contenait le chlorure d'argent s'échauffait.

2323. Les appareils construits par MM. Mignon et Rouart se rapportent à trois types différents. Deux sont intermittents et servent pour les faibles productions et les productions moyennes ; le troisième est continu et sert pour obtenir une production plus considérable et plus économique.

Les appareils se rapportant au premier type servent à produire de 1 à 2 kilogrammes de glace par opération ; ils sont destinés à l'usage des familles ou des laboratoires. Ils se composent de deux réservoirs,

l'un A appelé chaudière (fig. 595); l'autre B appelé congélateur ; dans la chaudière se trouve une solution aqueuse d'ammoniaque très-concentrée ; à la partie supérieure de cette chaudière est fixé un tube métallique qui plonge dans la dissolution ; ce tube est rempli d'huile, et on y place un thermomètre ; le second réservoir est à double enveloppe et laisse libre une capacité cylindrique intérieure dans laquelle on introduit un cylindre en fer-blanc qui reçoit l'eau à congeler, on établit un contact plus intime et une transmission plus complète de la chaleur entre le cylindre et l'enveloppe en plaçant dans celle-ci une petite quantité d'alcool qui remplit l'espace très-étroit laissé entre le cylindre et l'enveloppe. Cette dernière est mise en communication avec la chaudière par un tube qui vient se brancher à la partie supérieure d'un petit réservoir qui surmonte la chaudière. Une traverse maintient l'écartement des deux parties de l'appareil, le consolide et sert de poignée pour manier l'appareil. On commence par placer l'appareil horizontalement, le congélateur en haut, de façon à faire passer dans la chaudière le

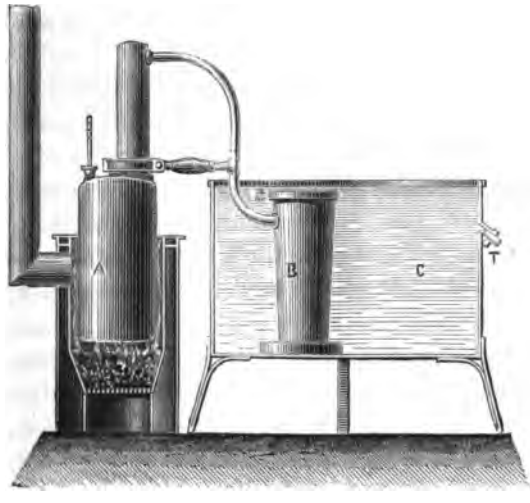


Fig. 595.

liquide qui pourrait se trouver dans le congélateur, ensuite on place la chaudière sur un fourneau et le congélateur dans un baquet C rempli d'eau froide, on chauffe modérément jusqu'à ce que le thermomètre marque 130° ; on enlève ensuite la chaudière du feu ; on vide de l'eau qui se trouve dans la capacité interne du congéla-

teur ; on place la chaudière dans le baquet C, après avoir eu le soin d'enlever le bouchon T pour qu'elle ne plonge dans l'eau que jusqu'aux trois quarts de sa hauteur ; on met ensuite dans le congélateur l'alcool nécessaire et on y place le vase qui contient l'eau à congeler ; on entoure le congélateur d'une enveloppe de laine bien sèche. L'eau qui sert au refroidissement doit avoir une température de 12° ; si cette eau était à une température plus élevée, il faudrait chauffer davantage dans la première opération. Par exemple, pour de l'eau à 25° on chaufferait à 150° ; la durée du chauffage pour l'appareil de 1 kilogramme de glace est de une heure environ ; avec l'appareil de 2 kilogrammes, la durée du chauffage est de une heure et demie. Il est facile de comprendre ce qui se passe dans l'appareil ; pendant qu'on chauffe la chaudière, l'ammoniaque distille pour se rendre dans le congélateur où la pression et l'abaissement de température la forcent à se liquéfier, de sorte que, le chauffage fini, on a dans la chaudière un liquide chaud ne contenant plus d'ammoniaque et du gaz liquéfié dans l'enveloppe du congélateur. Pendant qu'on refroidit la chaudière, l'ammoniaque liquéfiée se volatilise pour venir se redissoudre dans la chaudière et sa volatilisation produit du froid. L'objet du réservoir qui surmonte la chaudière est d'empêcher l'entraînement de l'eau par le gaz pendant le chauffage ; pour s'opposer d'une façon plus complète encore à cet entraînement d'eau, MM. Mignon et Rouart, se fondant sur des expériences qui leur sont personnelles, se proposent d'ajouter à la solution ammoniacale une certaine quantité de chlorure de calcium.

Ces appareils ne peuvent servir qu'à une production ne dépassant pas trois kilogrammes de glace ; si l'on voulait augmenter ces proportions, on arriverait vite à une impossibilité de manœuvre, aussi bien qu'à une durée beaucoup trop longue du refroidissement.

2324. Pour une production de 25 kilogrammes de glace et au-dessous, MM. Mignon et Rouart construisent un appareil aussi intermittent, basé sur les mêmes principes que le précédent ; mais cet appareil est à demeure et les surfaces liquéfiante et volatilisante sont augmentées de façon à obtenir une opération plus rapide. Cet appareil se compose d'une chaudière verticale placée sur un foyer ; une première partie de cette chaudière placée inférieurement produit de la vapeur qui vient chauffer un faisceau tubulaire placé à la partie supérieure et dans lequel se trouve la dissolution ammoniacale ; ce faisceau communique au moyen d'un tuyau avec un serpentin plongé dans une bâche d'eau froide et où se fait la liquéfaction, le

liquide coule dans un récipient inférieur, d'où il peut être introduit dans un congélateur placé à côté. Un système de tuyaux et de robinets permet de régler la distribution de l'eau, du gaz ou du gaz liquéfié ; par l'opération inverse, le congélateur est en communication avec le faisceau tubulaire qu'on refroidit en arrêtant le feu sous la chaudière et en remplissant ensuite cette chaudière d'eau froide. On comprend que le défaut des appareils intermittents consiste dans la perte de chaleur résultant de l'obligation où l'on est de réchauffer et de refroidir successivement les organes de l'appareil ; ce sont des machines dans lesquelles les pertes sont considérables par rapport à l'effet utile.

2325. Quand on veut construire des appareils de plus grande dimension et dans lesquels on recherche une production économique, on est obligé d'avoir recours à la continuité.

Pour se rendre compte de la marche que doit avoir un appareil continu, le mieux est de la déduire de celle d'un appareil intermittent. Cette dernière se compose de deux opérations distinctes l'une de l'autre et accomplies par les mêmes organes :

1° Chauffage de la chaudière et liquéfaction du gaz ammoniac dans le congélateur ;

2° Refroidissement de la chaudière et volatilisation du gaz ammoniac dans le congélateur.

Il en résulte qu'on constituerait un appareil continu au moyen de deux appareils intermittents dont les fonctions chevaucheraient. On voit donc qu'un appareil continu se compose essentiellement de quatre réservoirs accomplissant simultanément les quatre fonctions que nous venons d'énumérer ; il y aura donc :

1° Une chaudière distillant le gaz ammoniac ;

2° Un liquéfacteur le condensant à l'état liquide au moyen d'un courant d'eau froide et de la pression ;

3° Un congélateur volatilisant le gaz ammoniac liquéfié et produisant le froid ;

4° Un récipient d'absorption dans lequel le gaz ammoniac sera redissous et qu'il faudra également refroidir par un courant d'eau pour enlever la chaleur développée dans la dissolution du gaz.

L'ensemble de l'appareil est représenté fig. 595. A est une chaudière cylindrique chauffée au moyen d'un fourneau, mais qu'on peut aussi chauffer au moyen de la vapeur circulant dans un serpentin placé dans la chaudière ; elle contient la dissolution ammoniacale qui en occupe à peu près la moitié de la hauteur ; dans la partie su-

périeure de la chaudière se trouve une série de plateaux de rectification analogues à ceux que nous avons décrits pour la rectification de l'alcool et qui ne laissent arriver au sommet de la chaudière qu'un gaz privé d'eau ; cette chaudière est munie d'un tube à niveau O, et d'une soupape de sûreté M ; le gaz qui pourrait s'échapper par cette soupape est dirigé par un tuyau latéral dans le vase N, qui contient de l'eau pour l'absorber ; le gaz ammoniac sort de la chaudière par un tube *a'* et se rend au liquéfacteur B, celui-ci est formé d'une caisse dans laquelle circule de l'eau froide. Cette caisse contient un certain nombre de serpentins formés de tubes horizontaux et disposés dans un plan vertical ; chacun de ces serpentins aboutit d'une part à un tuyau unique qui reçoit le gaz en *a*, et d'autre part à un tuyau placé à l'autre extrémité de la caisse et d'où part le tuyau H donnant issue au gaz liquéfié et qui le conduit dans le distributeur d'où il sort en *c* pour arriver en *c'* par un tuyau contigu au tuyau de retour de l'ammoniaque volatilisée, et qui même s'enroule autour de celui-ci de façon à produire un échange de température entre les deux fluides qui circulent ; ce distributeur est un cylindre muni à la partie inférieure d'un tube de 15 ou 20 centimètres de largeur, et se terminant par une partie d'un diamètre un peu plus étroit fermée à son extrémité inférieure et offrant latéralement une petite ouverture communiquant avec le tube *c* ; un flotteur léger ouvert à la partie supérieure et fermé à la partie inférieure se termine par un tube percé latéralement d'un orifice correspondant au précédent ; l'ammoniaque liquéfiée coule d'abord entre le vase et le flotteur, puis en dépasse le bord et s'introduit dans celui-ci ; quand la quantité qui se trouve dans le flotteur est suffisante, il descend et, les deux orifices se trouvant alors en regard, l'écoulement de l'ammoniaque a lieu ; si l'ammoniaque s'écoule trop vite, le flotteur se vide, remonte et l'orifice d'écoulement se trouve rétréci ou même bouché. Le flotteur est disposé de façon à ce que l'amplitude de son mouvement ne dépasse pas 10 à 12 millimètres.

Le tube *cc'* est muni au-dessus du distributeur S d'un robinet qui permet de régler, en l'ouvrant plus ou moins, la différence de pression qui doit exister entre la chaudière, où elle est de huit atmosphères, et les serpentins du congélateur, où elle ne dépasse que très-peu la pression atmosphérique.

L'ammoniaque liquéfiée arrive en *c'*, dans un autre distributeur S qui a pour but de la répartir également dans les différents serpentins du congélateur C. Celui-ci présente différentes dispositions sui-

vant la nature du refroidissement que l'on veut opérer. Quand il s'agit de la fabrication de la glace, il est formé d'une caisse à parois épaisses, en bois doublé de métal et qui est remplie d'un liquide non congelable qui peut être soit de la glycérine, soit un liquide alcoolique, soit enfin une dissolution de chlorure de calcium. Dans cette caisse sont rangés verticalement des serpentins formés de tubes horizontaux, dont l'une des extrémités communique avec le distributeur S et l'autre avec le tube de retour *b'b* ; entre les serpentins

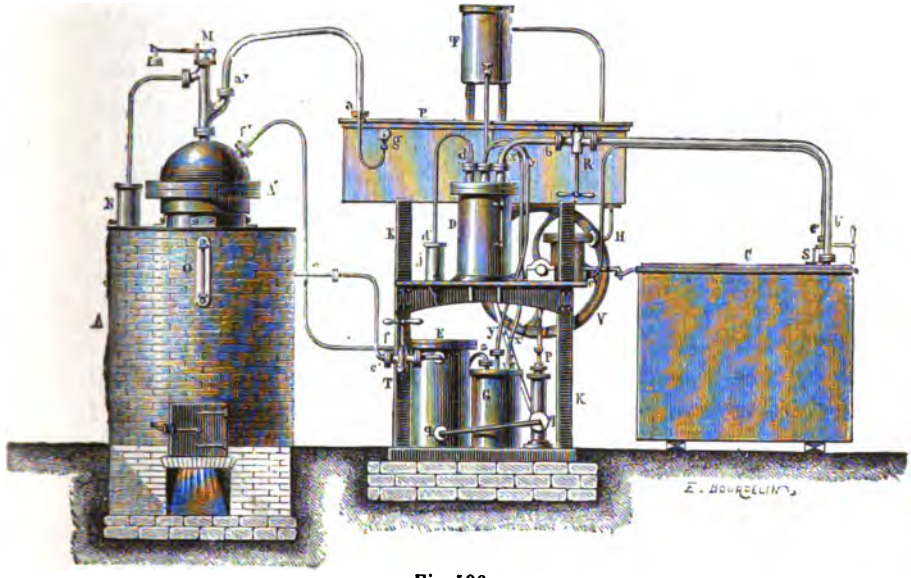


Fig. 596.

sont placés des vases longs et étroits, cylindriques ou prismatiques, et contenant l'eau à congeler. Dans les serpentins du congélateur l'ammoniaque liquéfiée absorbe de la chaleur et se vaporise de nouveau ; elle se rend dans le récipient d'absorption D, par le tube *b'b* qui est muni d'un robinet R et qui plonge jusqu'au fond du récipient ; celui-ci est muni d'un purgeur d'air *dd'*, qui vient plonger dans un vase J plein d'eau et destiné à arrêter l'ammoniaque ; dans ce même récipient arrive, par un tuyau *y y'*, le liquide épuisé d'ammoniaque venant de la chaudière et dont nous donnerons plus bas le parcours ; ce liquide arrive refroidi au sommet du récipient et tombe dans un vase placé à la partie supérieure ; ce vase est percé de trous, de sorte que l'eau traverse en pluie l'ammoniaque gazeuse qui remplit le récipient et tombe saturée à la partie inférieure, où elle est reprise par un

tube qui l'amène à la pompe P, qui l'envoie à la chaudière. Comme dans cette redissolution du gaz il y a un dégagement de chaleur considérable, on refroidit le récipient D en faisant circuler de l'eau dans un serpentin alimenté par le réservoir F; cette eau se rend par le tube *xx'* dans le cylindre G.

Le liquide appauvri par son ébullition dans la chaudière et la dissolution ammoniacale reconstituée dans le vase D sont soumis à une circulation inverse pendant laquelle ils font l'échange de leur température. Voici comment se fait cette circulation : le liquide appauvri sort de la chaudière par le tube *ee'*, qui plonge jusqu'au fond de cette chaudière et circule dans deux serpentins concentriques placés dans le vase E ; ce vase est formé de deux cylindres concentriques, et c'est dans l'espace annulaire que sont placés les serpentins qui sont parcourus de haut en bas par le liquide appauvri, tandis que la dissolution ammoniacale envoyée par la pompe pénètre par le tuyau *qq* dans l'espace annulaire qu'elle parcourt de bas en haut ; elle sort ensuite par le tuyau *ff'* qui la ramène à la partie supérieure de la chaudière et la distribue sur les plateaux de rectification. Quant au liquide épuisé, il sort des serpentins et se rend par un tube *z* dans un autre serpentin placé dans le vase G, et où il continue de se refroidir au contact de l'eau qui circule dans ce vase. Le tuyau qui amène à la chaudière le liquide ammoniacal et celui qui enlève le liquide épuisé sont munis tous deux de robinets pour régler l'écoulement du liquide. Le maintien de la différence des pressions dans la chaudière d'une part, et dans le congélateur et le vase d'absorption d'autre part, est, comme nous l'avons vu, le résultat de la façon dont on règle l'écoulement des liquides et du gaz ; c'est donc de l'exécution de ces robinets que dépend la bonne marche de l'appareil ; aussi MM. Mignon et Rouart ont-ils combiné avec le plus grand soin des robinets fort sensibles et manœuvrables aux plus basses températures.

Ces appareils doivent être entièrement en fer, pour éviter l'attaque du cuivre par l'ammoniaque. Les constructeurs sont arrivés à exécuter à peu près d'une seule pièce chacun des serpentins dans lesquels s'accomplissent la volatilisation, la liquéfaction, l'absorption et l'échange de température des liquides.

Pour déterminer la quantité de chaleur nécessaire à la marche de l'appareil, on remarque que l'ammoniaque doit être vaporisée dans la chaudière sous une pression de 8 atmosphères, tandis qu'elle se vaporisera dans le congélateur sous une pression d'une atmosphère

seulement; la chaleur latente de vaporisation dans la chaudière devra donc être un peu différente de celle qu'on obtiendra dans le congélateur; cependant, on peut admettre, comme une approximation suffisante, qu'une calorie dépensée dans la chaudière produira une calorie négative dans le congélateur; il faudra cependant tenir compte des pertes produites par le réchauffement du congélateur, etc.

D'après les constructeurs, le prix de revient de la glace dans une fabrication courante d'une certaine importance ne dépasserait pas un demi-centime le kilogramme.

2326. Les applications qui ont été faites de ces appareils sont nombreuses et, suivant la nature des effets à produire, il n'y a de modifications à faire que dans la disposition du congélateur; indépendamment de la fabrication de la glace, celle des carafes frappées et celle des sorbets sont les plus répandues; on peut citer encore le refroidissement des moûts de bière, celui du lait pour le faire voyager dans les grandes chaleurs, la congélation des poissons qu'on enferme dans un bloc de glace, le refroidissement des huiles pour obtenir la précipitation de la paraffine; le refroidissement des solutions salines pour obtenir des précipités; parmi ces dernières applications, nous dirons quelques mots de la précipitation du sulfate de soude des eaux mères des marais salants, opération qui s'exécute chez MM. Henry Merle et Cie.

Lorsque le sel a été déposé sur le sol des marais salants, il reste des eaux mères qui, comme l'a démontré M. Balard, recèlent encore de très-grandes richesses, et entre autres du chlorure de sodium et du sulfate de magnésie.

Si on soumet ces résidus à une température de 18° au-dessous de zéro, il s'opère une double réaction, ayant pour effet de fixer l'acide sulfurique sur la soude et l'acide chlorhydrique sur la magnésie, de manière qu'on obtient du sulfate de soude qui se précipite, et du chlorure de magnésium qui reste en dissolution dans la liqueur.

Le congélateur dont on se sert pour produire cette réaction se compose de séries tubulaires verticales, enfermées dans une bâche en tôle contenant le liquide à traiter, entre lesquelles se promène un râteau, destiné à produire l'agitation du liquide et à ramasser le sulfate de soude qui s'accumule à la partie inférieure de la bâche. Les eaux à traiter arrivent à l'une des extrémités, et se rendent à l'autre dans une grande caisse de repos, où elles se trouvent mélangées avec le sulfate de soude ramassé par le râteau. Une drague à

godets en toile métallique va chercher au fond de cette caisse le sulfate de soude qui s'y accumule, et l'amène, en partie égoutté, dans des turbines, où l'action de la force centrifuge achève de le dessécher. Toutes ces opérations s'effectuent d'une manière continue. Des échangeurs de température, placés sur le trajet du liquide qui arrive au congélateur, le refroidissent au contact du liquide épuisé qui en sort.

MM. Mignon et Rouart ont aussi appliqué leur appareil au refroidissement de l'air ; nous aurons occasion de parler ultérieurement de cette application.

2327. M. E. Carré a imaginé un appareil pour produire de la glace et frapper les carafes, qui n'est qu'une réalisation pratique de l'expérience de Leslie. Cet appareil se compose d'un réservoir cylindrique horizontal en plomb antimonié, contenant une certaine quantité d'acide sulfurique. Ce réservoir porte deux tubulures : l'une sert à observer ce qui se passe dans l'intérieur du cylindre et se ferme au moyen d'une glace mastiquée sur le bord de la tubulure, l'autre laisse passer la tige d'un agitateur ; un tube est adapté au cylindre ; il se recourbe deux fois et reçoit, au moyen d'un bouchon de caoutchouc, la carafe qu'on serre sur ce bouchon et qui reste suspendue ; le tube de communication est muni d'un robinet ; un autre tube met le récipient en communication avec une pompe pneumatique qui se manœuvre au moyen d'un levier horizontal ; la tige de l'agitateur est aussi fixée à ce levier ; en faisant fonctionner la pompe, on fait le vide et l'eau commence bientôt à bouillir ; au bout de quelques minutes elle est à 0°, à partir de ce moment, elle se congèle peu à peu. L'acide est introduit dans le recipient à 66° de l'aréomètre ; on l'enlève quand il ne marque plus que 52°.

Pour faire de la glace, on emploie des carafes formées de deux parties réunies par un joint que l'on fait à la cire molle ; quand la glace est formée dans la partie inférieure de la carafe, on défait le joint et on peut faire sortir la glace formée.

2328. M. N. Galland, de Nancy, a fait breveter un appareil fondé sur le même principe, mais destiné aux applications industrielles et particulièrement au refroidissement des moûts de bière. L'emploi de l'appareil précédent ou d'appareils analogues sur une grande échelle est rendu presque impossible par trois causes principales :

1° La grande difficulté qu'il y a à faire un vide suffisant avec de grandes pompes ;

2° L'impossibilité de maintenir le vide dans de grands appareils

dans lesquels les joints les mieux faits laissent toujours rentrer l'air ;

3° La grande quantité d'acide sulfurique à manier et dont la révivification, par la nature même de l'acide, est coûteuse et dangereuse.

M. Galland résout la première difficulté par l'emploi d'une pompe qu'il appelle *barométrique ;* cette pompe se compose (fig. 597) d'une enveloppe cylindrique *b* en fonte fermée à la partie inférieure ; cette

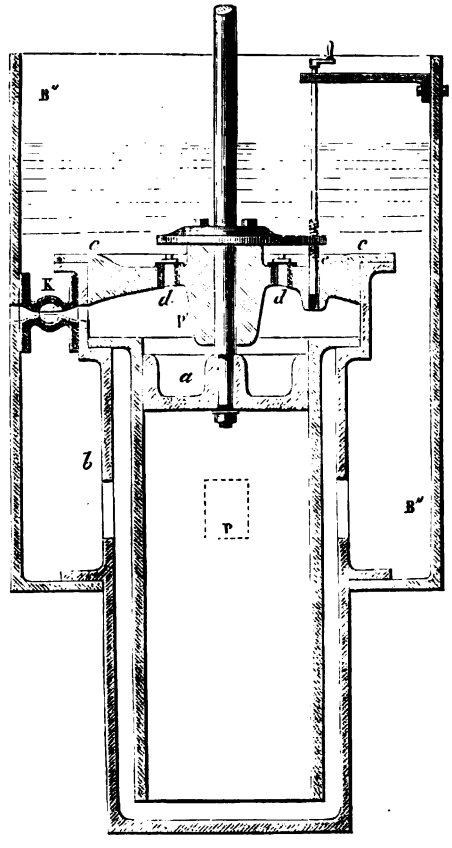


Fig. 597.

enveloppe a sa partie supérieure plongée dans une bâche remplie d'une dissolution concentrée de chlorure de zinc, dont la densité est 2,015 et qui ne donne pas de tension de vapeur sensible ; des orifices pratiqués dans la paroi de cette enveloppe permettent au liquide de s'y introduire ; le corps de pompe D proprement dit est un cylindre ouvert aux deux bouts, alésé et dans lequel circule un piston *a* sans garniture. L'enveloppe est fermée par un couvercle *c*,

muni de deux soupapes *d* pour l'expulsion de l'air, et d'un orifice *e* qu'on ferme plus ou moins au moyen d'une clef à rainures ; latéralement un robinet *k* mis en action par le mouvement du piston sert à établir la communication de la pompe avec la capacité P'. La tige du piston traverse le couvercle sans boîte à étoupe ; le robinet *k'* s'ouvre de façon à ce que l'admission de l'air se fasse à partir du premier dixième et pendant huit dixièmes de la course du piston.

Cela posé, la bâche, l'enveloppe du cylindre et l'intérieur du cylindre P étant remplis de liquide, si le piston s'abaisse, l'air du récipient dans lequel il faut faire le vide s'introduit dans la capacité P' ; en même temps une petite quantité de liquide s'introduit par l'orifice *e* dans cette même capacité ; quand le piston remonte, l'air est comprimé dans la capacité P' et sort par les soupapes D ; il n'y a pas d'espace nuisible dans cette pompe, parce que l'espace laissé entre le piston et le couvercle lorsque le piston est au plus haut de sa course est rempli de liquide, et même l'introduction de ce liquide qui s'est faite pendant la descente du piston fait qu'il y en a toujours dans l'espace P' une quantité surabondante qui sort à chaque coup de piston en chassant complétement l'air par les soupapes *d*.

L'appareil proprement dit se compose d'un évaporateur et d'un condenseur. L'évaporateur est un tambour en fonte placé verticalement dans une bâche rectangulaire remplie d'eau suffisamment chargée de chlorure de zinc pour l'empêcher de se congeler ; cette bâche est entourée d'une forte couche de matières isolantes pour empêcher le réchauffement. Le tambour est en fonte et aplati, il contient de l'eau ou de l'eau légèrement chargée de chlorure de zinc ; dans l'intérieur de ce tambour tournent dix disques en tôle de laiton placés sur un axe qui pénètre dans le tambour et reçoit le mouvement de l'extérieur ; ces disques, plongeant dans l'eau, se chargent de ce liquide sur toute leur surface en tournant et présentent ainsi une très-grande surface d'évaporation. Le condenseur qui suit immédiatement l'évaporateur est une boîte en fonte très-longue, 4 à 5 fois plus haute que large et dans laquelle sont disposés à la suite 4 arbres portant des disques semblables et en nombre égal à ceux de l'évaporateur ; à la partie inférieure de la boîte se trouve une couche de chlorure de zinc concentré dans laquelle les disques plongent en tournant ; on a ainsi une très-grande surface d'absorption. L'évaporateur communique directement avec le condenseur qu'il prolonge d'un côté ; de l'autre côté, ce condenseur communique avec la pompe. L'évaporateur est plongé dans une bâche remplie d'eau privée d'air

et qu'on maintient dans cet état en la recouvrant d'une couche d'huile ; un serpentin à très-large surface et dans lequel circule de l'eau froide maintient la température de l'eau de cette bâche qui s'échauffe par suite de l'absorption. Le condenseur est divisé dans sa longueur par des cloisons qui n'occupent qu'une partie de sa hauteur et qui forment ainsi à sa partie inférieure des vases séparés qui contiennent la dissolution de chlorure de zinc ; celle-ci venant de la bâche de la pompe entre dans le condenseur par l'extrémité opposée à l'évaporateur, sort du premier compartiment par un tuyau qui se contourne en serpentin pour se rendre ensuite dans le deuxième compartiment ; chaque compartiment est mis ainsi en communication avec le suivant par un serpentin qui se développe dans l'eau de la bâche du condenseur. Au dernier compartiment elle est prise par une pompe au moyen d'un tuyau de trop-plein, et cette pompe envoie le liquide à l'appareil de révivification.

Le liquide renfermé dans l'évaporateur et qui est convenablement refroidi est pris par une pompe placée en contre-bas et envoyé dans un faisceau tubulaire d'où il retourne à l'évaporateur ; on voit que c'est toujours le même liquide qui circule, il faut seulement lui rendre, en eau distillée et privée d'air, toute la quantité qui s'évapore pour produire le froid. Autour du faisceau tubulaire circule un autre liquide qui se refroidit au contact du premier et qu'on transporte ensuite où cela est nécessaire.

Dans cette installation, toutes les parties de l'appareil, évaporateur, condenseur, pompe pneumatique, plongent dans un liquide privé d'air, et par suite les rentrées d'air sont impossibles ; enfin le liquide employé est sans danger et facile à régénérer.

Ici, comme dans l'appareil de M. Carré aîné, une calorie positive produira une calorie négative si l'on ne tient pas compte des pertes, puisque dans le révivificateur il faudra évaporer une quantité d'eau égale à celle qui aura été évaporée dans le condenseur. S'il y avait nécessité d'alimenter l'évaporateur avec de l'eau distillée, la consommation de chaleur serait double ; mais on pourrait, pour éviter ce surcroît de dépense, ou bien se servir d'eau de pluie, ou bien disposer le régénérateur de façon à condenser la vapeur d'eau résultant de la concentration.

Afin d'obtenir un vide parfaitement effectif, on s'arrange de façon à ce que le volume engendré par le piston de la pompe soit égal à une fois et demie celui de l'espace vide contenu dans l'évaporateur et le condenseur.

Nous n'avons point de renseignements sur la force motrice nécessaire au mouvement des différents organes et qui dans ce cas doit être notable, nous n'avons pas non plus de données sur le rendement pratique de l'appareil.

2329. *Appareils à produire le froid basés sur la vaporisation d'un liquide, qu'une action mécanique sert ensuite à liquéfier.*

On indique dans tous les cours de physique élémentaire les effets frigorifiques produits par l'évaporation des liquides; la température que l'on peut obtenir dépend de la volatilité du liquide, et comme loi générale on peut poser qu'un liquide soumis à la vaporisation dans un espace qui n'est occupé que par sa propre vapeur pourra acquérir, par le refroidissement dû à l'évaporation, la température pour laquelle la tension de sa vapeur est égale à la tension qui existe dans le récipient où se produit la vaporisation. D'une façon générale aussi on voit qu'il faudra maintenir dans ce récipient une pression ne dépassant pas une valeur donnée, ce qui exigera qu'on enlève les vapeurs au fur et à mesure de leur formation. On pourra y arriver par différents procédés ; dans les appareils précédemment décrits nous avons vu recourir à l'emploi de différents absorbants : eau, acide sulfurique, chlorure de zinc, etc. On peut aussi recourir à l'emploi d'une pompe qui aspire ces vapeurs et qui, les comprimant ensuite, les ramène à l'état liquide pour servir à une nouvelle vaporisation ; c'est des appareils fondés sur ce principe que nous allons maintenant nous occuper. Différents liquides sont employés dans ces appareils et il est utile, comme nous l'avons vu plus haut, de connaître la tension de la vapeur de ces liquides pour les températures diverses auxquelles ils peuvent être amenés ; voici ces valeurs telles qu'elles ont été déterminées par M. Regnault :

TEMPÉRATURES.	TENSION EN ATMOSPHÈRES DES VAPEURS					
	D'ALCOOL.	D'ÉTHER.	D'ÉTHER méthylique	DE SULFURE de carbone.	D'ACIDE sulfureux.	D'AMMONIAQUE.
— 40	»	»	»	»	»	0,69
— 30	»	»	0,75	»	»	1,30
— 20	0,004	0,058	1,20	0,06	0,63	1,80
— 10	0,009	0,149	1,70	0,11	1,02	2,80
0	0,017	0,241	2,50	0,17	1,53	4,10
+ 10	0,032	0,377	3 50	0,27	2,26	6,10
+ 20	0,059	0,570	4,70	0,40	3,24	8,50
+ 30	0,100	0,830	6,30	0,57	4,51	11,60
+ 40	0,176	1 200	»	0,80	7,14	»

2330. Dans certaines parties des États-Unis, on avait réussi à produire la congélation de l'eau sur une très-grande échelle par l'évaporation de l'éther dans le vide. Des vases de fonte, contenant de 14 à 15 kilogrammes d'eau, sont placés dans une enceinte environnée d'une couche épaisse de charbon ; autour des vases on a ménagé des rigoles, destinées à l'écoulement de l'éther. On fait le vide dans l'enceinte au moyen d'une puissante machine pneumatique, et on fait écouler de l'éther dans la rigole en maintenant l'action de la machine, qui enlève continuellement la vapeur d'éther, la refoule ensuite, la condense et rejette le liquide dans un vase extérieur. Le thermomètre descend, dit-on, jusqu'à — 9° centigrades, et la glace ainsi produite ne revient qu'à 15 centimes le kilogramme ; l'opération ne dure pas plus d'une heure. La chaleur totale de la vapeur d'éther étant de 109, en supposant l'eau à 15°, la chaleur qu'il faut enlever à 1 kilogramme d'eau étant de $79 + 15 = 94$, on voit qu'il faut évaporer un peu moins de 1 kilogramme d'éther pour congeler 1 kilogramme d'eau. L'éther est préférable à l'eau et à l'alcool, malgré sa plus faible chaleur latente, à cause de la plus grande densité de sa vapeur sous la pression correspondante à la congélation de l'eau. En admettant la loi de Dalton, qui consiste en ce que *les vapeurs des différents liquides ont des tensions égales à des températures également éloignées de celle de leur ébullition*, l'éther bouillant à 36°, et ce liquide étant maintenu sensiblement à 0°, la tension de la vapeur d'éther sera égale à celle de l'eau à $100 - 36 = 64°$, c'est-à-dire à $0^m,178$ de mercure, ou à 0,234 d'atmosphère (d'après M. Regnault elle serait de 0,241) ; et comme la densité de la vapeur d'éther, relativement à l'air, est 2,58, un litre de vapeur d'éther à 0° pèserait $2,58 . 1,3 . 0,234 = 0^{gr},784$, et la quantité de chaleur qu'il renfermerait serait de $0,000784 . 109 = 0^c,085$. Pour l'eau, la tension de la vapeur à 0° étant de 0,0046 de mercure, ou de 0,0060 d'atmosphère, et la densité de la vapeur d'eau, par rapport à l'air, étant de 0,622, le poids de 1 litre de vapeur d'eau sera de $0,622 . 1,3 . 0,006 = 0^{gr},0048$, et la quantité de chaleur qu'il renfermerait serait de $506 . 0,0048 : 1000 = 0,0024$.

2331. M. Carré s'est occupé, il y a quinze ans environ, en France, de la construction d'un appareil basé sur le même principe. Il se compose, comme celui que nous venons de décrire, de trois organes principaux : un réfrigérant, la pompe à l'éther, et le condenseur. Le réfrigérant est un cylindre de cuivre, placé verticalement, et dans lequel l'éther liquide arrive d'une manière continue. La paroi supé-

rieure est percée d'un certain nombre de trous circulaires dans lesquels s'engagent des tubes, fermés par le bas, ouverts par le haut, soudés sur le bord du trou et suspendus ainsi dans l'intérieur du cylindre. Ces tubes renferment de l'alcool dans lequel plongent d'autres tubes contenant l'eau à congeler. La pompe fait le vide dans le réfrigérant à $0^m,67$ de mercure, et envoie dans le condenseur la vapeur d'éther qui, après être repassée à l'état liquide, revient dans le réfrigérant. Ces appareils ne sont pas entrés dans la pratique.

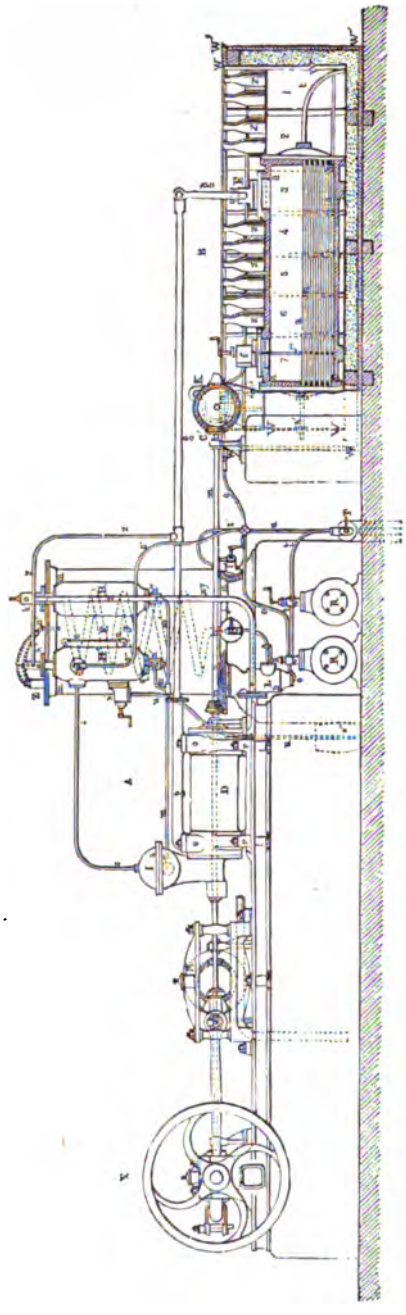


Fig. 598.

2332. M. Ch. Tellier emploie, pour produire le froid, des machines dans lesquelles le liquide vaporisé est l'éther méthylique. L'appareil est représenté (fig. 598) ; il se compose essentiellement d'une pompe D, d'un condenseur E et d'un réfrigérant ou *frigorifère;* ce dernier, qu'on voit en B dans la figure, se compose d'une bâche en fer W, entourée d'une enveloppe en bois W', dont elle est écartée de 10 à 15 centimètres de façon à placer dans l'intervalle une couche isolante, charbon, liége, paille d'avoine, etc. Dans cette bâche est installé un cylindre en fonte *aa* que traverse un faisceau tubulaire ; à la

partie antérieure en C, ce cylindre est muni d'une calotte qui forme avec le fond du cylindre une capacité en avant du faisceau tubulaire. C'est le cylindre qui doit contenir l'éther méthylique liquide qui, en se vaporisant, fournira le froid ; la bâche est remplie d'un liquide non congelable : eau glycérinée ou dissolution de chlorure de calcium ; et afin d'obtenir un refroidissement plus rapide, on force le liquide de la bâche à traverser d'une façon continue le faisceau tubulaire ; pour cela une pompe placée en K prend le liquide dans la bâche et le conduit par un tube S′ dans la calotte C, d'où il passe dans le faisceau tubulaire et de là dans la bâche ; la bâche peut alors recevoir les moules à glace ou les carafes qu'on veut frapper ; on peut aussi faire circuler le liquide non congelable, refroidi dans la bâche, et l'envoyer dans d'autres bâches convenablement disposées pour recevoir des carafes, etc.

L'éther méthylique, vaporisé dans le cylindre *aa* sous l'influence de la chaleur qu'il prend au liquide de la bâche, se rend dans la pompe par le tuyau *gg*, muni du robinet F ; les vapeurs comprimées à une pression convenable se rendent dans un égoutteur H, puis dans le condenseur qui se compose d'un serpentin J placé dans un vase cylindrique *mm* où circule de l'eau froide ; le serpentin J aboutit à sa partie inférieure à deux robinets *l* et *l′* placés en dehors du vase ; de là l'éther liquéfié passe dans un distributeur L et de là se rend par le tube O muni d'un robinet *f* dans le cylindre *aa*. On conçoit que dans son fonctionnement la pompe doit rester parfaitement étanche et qu'il doit y avoir une arrivée bien mesurée de gaz liquéfié dans le cylindre du frigorifère ; pour arriver à satisfaire à ces conditions, il a fallu résoudre un certain nombre de problèmes particuliers que nous allons exposer.

La pompe est représentée en coupe (fig. 599), elle est formée d'un corps de pompe à double effet contenant deux soupapes d'aspiration et de refoulement ; les soupapes d'aspiration sont en *oo*, les soupapes de refoulement en *rr ;* les vapeurs amenées en *g* passent à travers les soupapes *o* et s'échappent à travers les soupapes *r* dans le tube S. Pour obtenir l'occlusion absolue du cylindre et fermer tout passage, aux vapeurs comprimées, du cylindre à l'extérieur par l'ouverture de passage du piston, on se sert d'un graisseur qui se voit en I dans la figure 598. Il se compose d'une capacité sphérique divisée en deux hémisphères réunis par un joint ; deux tubes, l'un *s*, l'autre *m*, mettent cette capacité en communication l'un avec la partie inférieure, l'autre avec la partie supérieure d'un réservoir

d'huile H' lequel est muni d'un tube à niveau. Le graisseur est représenté à part (fig. 600) ; on voit facilement que l'huile entoure d'une façon permanente la tige du piston ; tandis que les vapeurs d'éther méthylique qui pourraient venir de la pompe s'échappent dans la capacité sphérique et passent au-dessous de la couche d'huile qui le

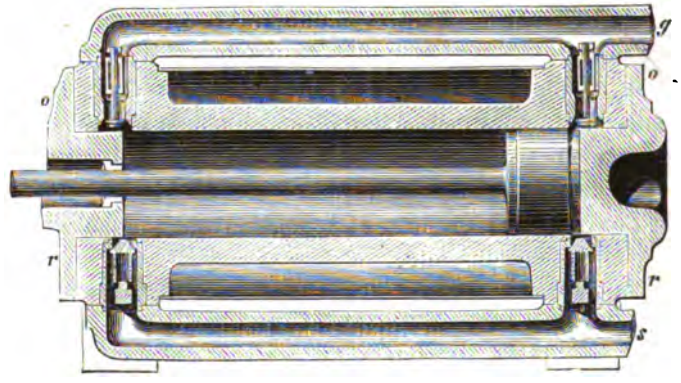


Fig. 599.

remplit en partie ; on obtient ainsi une parfaite lubrification du piston en même temps qu'une étanchéité parfaite. On peut d'ailleurs

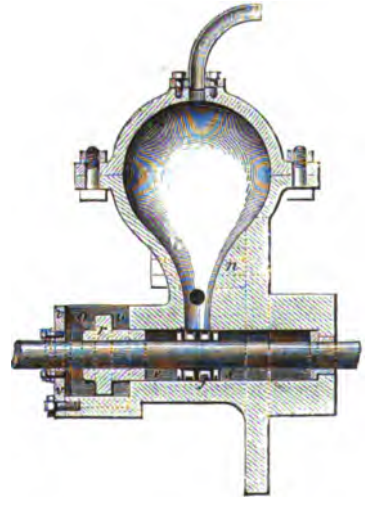


Fig. 600.

s'assurer à chaque instant du bon fonctionnement de cette partie de l'appareil ; pour cela, une plaque *vv* est placée sur le prolongement

de la boîte à étoupe de manière à former avec elle une auge *oo*, cette capacité est remplie d'huile ; si des vapeurs venaient à s'échapper, elles trouveraient la couche d'huile placée dans l'auge *oo*, en bulles faciles à apercevoir. Les vapeurs qui ont pu s'échapper dans le graisseur montent par le tube S (fig. 598) à la partie supérieure du réservoir H', de la partie supérieure duquel part un tube *rr* muni d'un robinet *h'* ; ce tube *rr* est en communication avec le tube *g* d'aspiration de la machine qui reprend les vapeurs pour les réintroduire dans le cylindre ; on voit que l'huile peut descendre, en vertu de son poids, du cylindre H' dans le graisseur, car la pression est maintenue la même dans les deux vases au moyen du tube de communication *ss* qui sert au passage des vapeurs ; le tube *mm* muni du robinet *n'* placé au bas du récipient H' sert à l'écoulement de l'huile.

Une certaine quantité d'huile passe à travers la garniture du piston, s'introduit dans le cylindre de la pompe et se trouve ensuite envoyée dans celui du frigorifère ; il faut recueillir cette huile, afin qu'elle puisse servir d'une façon constante ; une première portion de cette huile se dépose dans l'égoutteur H d'où elle est ramenée au graisseur au moyen d'un tube *m'* muni d'un robinet *n''* convenablement ouvert. Lorsque l'observation du tube à niveau du réservoir H' a fait voir que l'huile y a diminué d'une façon notable et qu'il en est passé par conséquent une certaine quantité dans le frigorifère, on ferme le robinet F du frigorifère et le robinet *l* qui établit la communication entre le serpentin et le distributeur ; la pompe fonctionne alors comme une machine pneumatique qui fait le vide dans le tube *gg* ; on ouvre alors le robinet *s'* et l'huile placée dans la partie inférieure du frigorifère remontera par le circuit *j''' o s'' s'* dans le récipient H' ; on fermera le robinet *s'* et on ouvrira les robinets *l* et F aussitôt que le niveau de l'huile sera rétabli. Quelles que soient les précautions prises, il passera toujours un peu d'huile au dehors ; on pourra introduire l'huile manquante en ouvrant, pendant qu'on fait le vide, le robinet X', et l'huile placée dans le réservoir X'' montera dans le réservoir H'.

Pour introduire l'éther méthylique dans le frigorifère au début de l'opération, on met les bonbonnes R en communication au moyen du tube *t* et du robinet T avec le circuit *u o j'''*. Un purgeur *y* placé sur le tube S permet d'évacuer l'air au commencement de l'opération.

Le condenseur est muni d'un thermomètre avertisseur *n'* qui indique si la température que le condenseur doit conserver n'est pas dépassée.

Le distributeur est figuré en coupe verticale dans la figure 601, en coupe horizontale dans la figure 601 ; il se compose de trois parties principales : 1° le socle *a* relié au bâti N de la machine par l'attache méplate *b*; 2° le distributeur proprement dit ; 3° le chapeau *ee*.

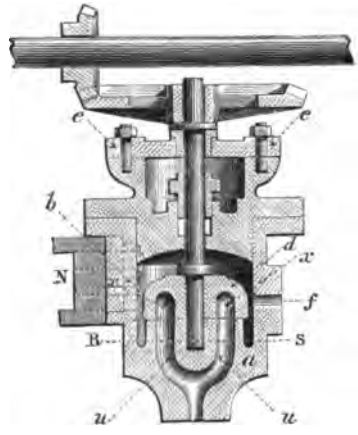


Fig. 601.

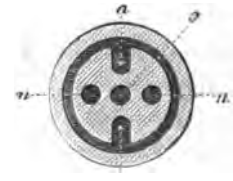


Fig. 602.

Le socle *a* forme une espèce de cuvette, qui se relève intérieurement pour former un bossage sur lequel roule le distributeur *d* ; ce bossage présente quatre cavités *u*,*u*,*v*,*v* ; les deux orifices *u*,*u* se prolongent en deux canaux qui se réunissent inférieurement ; au contraire, les orifices *v*,*v* débouchent librement dans la cuvette intérieure que forme *a*. Le distributeur *d* est constamment animé d'un mouvement de rotation qu'il reçoit de la machine ; il est muni de quatre alvéoles égaux *x* ; le chapeau *ee* ferme hermétiquement le distributeur ; l'éther liquéfié arrive constamment dans l'appareil par la tubulure *f* et remplit la capacité que forme *a* ; dans le mouvement du distributeur, chaque fois qu'un des alvéoles *x* passe devant une des cavités *v*, elle se remplit de liquide, et chaque fois qu'elle passe ensuite devant un des orifices *u*, la pression y étant moindre puisque ces orifices sont en communication avec le frigorifère, elle se décharge de la quantité d'éther qu'elle contenait et qui s'écoule par la tubulure inférieure, d'où elle arrive par le tube *oo* au robinet *f* par lequel elle s'introduit dans le frigorifère.

Le robinet de sûreté *l'*, dont nous avons déjà parlé, sert à faire que si, par une circonstance quelconque, l'éther liquide ne pouvait pas s'écouler par le distributeur L, il n'y ait pas d'excès de pres-

sion dans le condenseur, mais qu'au contraire un chemin nouveau soit ouvert à l'éther pour se rendre au tube *oo* et par suite au frigorifère ; ce robinet est représenté à part (*fig.* 603), *aa* est l'enveloppe fermant le corps du robinet. D'un côté par la bride *dd* elle se fixe au socle du condenseur ; de l'autre par une autre bride *ee* elle reçoit le tube qui relie le robinet de sûreté à la conduite *oo* du fri-

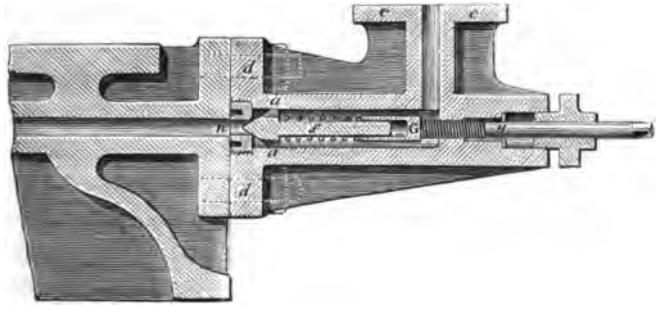


Fig. 603.

gorifère ; G est l'obturateur, serré par un presse-étoupe et vissé dans la paroi même du robinet dont il permet à volonté la fermeture ou l'ouverture ; cet obturateur est formé d'une soupape *f* et d'un guide *g* qui se pénètrent mutuellement et sont séparés par un ressort à boudin ; ce dernier est calculé de façon à ce que la tige *t*, lorsqu'elle est tout à fait à bout de course dans le sens du dévissage, n'appuie plus sur la collerette de la soupape *f* ; mais qu'au contraire, quand celle-ci est vissée complétement, il puisse se manifester une tension supérieure à la pression maxima qui pourrait s'exercer en *n* ; on règle convenablement le robinet en serrant ou desserrant la vis et on obtient ainsi une véritable soupape de sûreté.

2333. Parmi les applications très-intéressantes que M. Ch. Tellier a faites de la production du froid, il faut citer celle de la conservation de la viande pendant son transport à bord de navires ; le froid est en effet un antiseptique très-puissant ; il s'oppose au développement de toute fermentation et par conséquent présente un moyen de conservation des viandes qui n'en change aucunement la nature, à la condition toutefois qu'on n'ira pas jusqu'à la congélation, celle-ci détruisant les tissus. Le problème à résoudre est donc de placer la viande à une température très-voisine de zéro et de l'y maintenir pendant toute la durée de la traversée ; il va sans dire qu'on devra prendre des précautions spéciales pour le chargement et le

déchargement et s'arranger de façon à ce que ces deux opérations se fassent avec une grande rapidité. On peut transporter les viandes en caisses ou en vrac ; c'est à ce dernier procédé que M. Ch. Tellier donne la préférence. La figure 604 représente la coupe d'un navire disposé pour recevoir la viande en vrac. A est la chambre qui contient les chaudières et la machine ; *c*, *c* sont les soutes à charbon , B, B cales ou magasins à viande, D poste d'équipage, E logement des officiers, F cabine du capitaine et chambre, s'il y a lieu, des passagers ; *g* passerelle avec roue du gouvernail. Les cales *B*, *B* sont divisées en cabines ayant une largeur proportionnelle aux morceaux à ranger et ouvrant sur un corridor commun aboutissant à deux écoutilles *a*, *n* ; un pont intermédiaire *vv* divise la cale en deux étages et permet de fractionner l'emmagasinement des produits ; afin de charger rapidement, les écoutilles doivent être assez larges pour que les escaliers puissent être doubles de façon à ce qu'il ne puisse y avoir croisement entre les chargeurs qui montent et ceux qui descendent. A l'arrivée du navire au port de chargement, on le déchargera de la cargaison qu'il amène, soit du charbon ; on balayera, on lavera, et on ventilera pour sécher. Les stalles qui divisent les cales B, B sont fermées par deux cloisons dont les montants portent des boucles en fer, placées sur les montants à des intervalles égaux ; sur ces boucles s'accrochent des échelles-rayons aussi en fer sur lesquelles on dispose la viande comme on le voit dans la figure 605. Une fois chargée chaque stalle est fermée au moyen d'une porte rembourrée. Pour

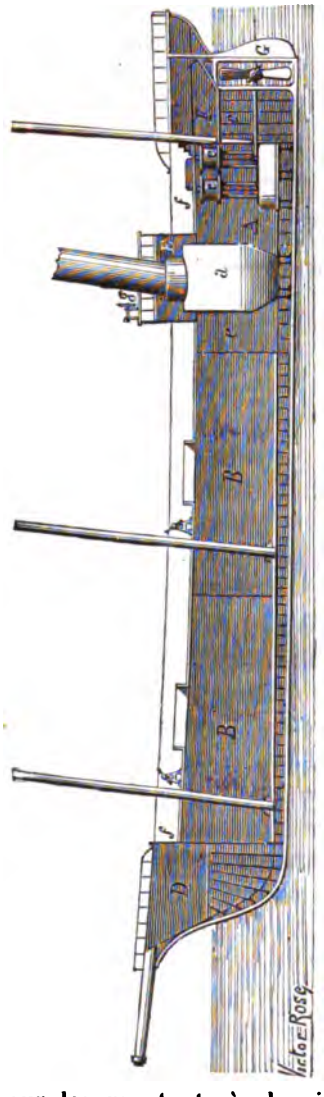


Fig. 604.

maintenir dans les stalles une température convenable on y fait arriver par des ouvertures convenablement disposées un courant d'air froid obtenu en chassant au moyen d'un ventilateur de l'air dans un système tubulaire parcouru dans un sens par l'air et en sens inverse par un liquide incongelable artificiellement refroidi.

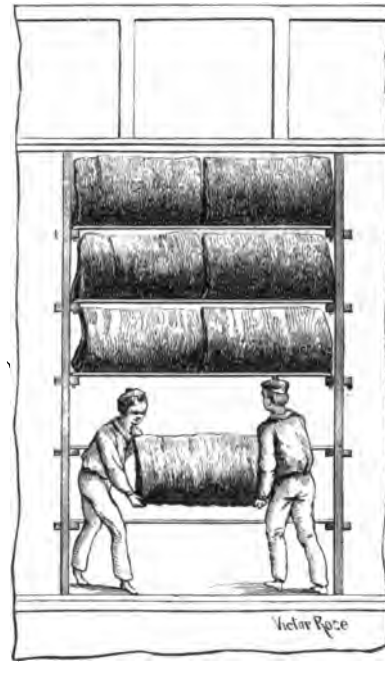


Fig. 605.

C'est sur des principes analogues qu'a été aménagé le « *Frigorifique* », navire employé par une compagnie française organisée par M. Ch. Tellier pour le transport de la viande fraîche entre Buenos-Ayres et la France. Ce navire est à vapeur, de 65 mètres de long, sa machine a 100 chevaux de force. L'appareil spécial pour la production du froid se compose de trois machines à vapeur actionnant chacune un cylindre de compression ; la commande se fait au moyen d'un arbre doublement coudé de façon à faire coïncider la plus grande pression de la vapeur dans la machine qui est à détente avec le plus grand effort de compression dans la pompe. A côté des pompes de compression se trouve établi un jeu de corps cylindriques, traversés par 200 tubes dans lesquels circule un liquide incongelable (chlorure de calcium) : c'est dans ces cylindres que se vaporise l'éther méthylique, qui est repris par les pompes et refoulé dans un condenseur entouré par de l'eau froide qui circule ; l'éther liquéfié est ensuite renvoyé dans les corps cylindriques. Des dispositions particulières d'isolement ont dû être prises : 1° parce que les chaudières et la machine du propulseur occupaient un espace de 20 mètres de long placé entre les appareils producteurs du froid et la chambre destinée à la conservation des viandes ; 2° parce que le navire construit en fer devait naviguer dans une eau dont la température moyenne est de 15 à 20°. La dissolution froide de chlorure de calcium qui a traversé les faisceaux tubulaires des frigorifères,

traverse la chambre des machines dans des tubes parfaitement isolés et se rend dans la chambre de froid où elle se déverse dans six cylindres de $2^m,25$ de hauteur et de $0^m,70$ de diamètre, contenant chacun 25 tubes de $0^m,08$ de diamètre traversés par de l'air fourni par des ventilateurs. L'air en se refroidissant laisse condenser l'eau qu'il contient, et les poussières, les germes organiques qu'il renferme se déposent en même temps pour la plupart. Cet air sec et purifié est rejeté dans la chambre occupée par les viandes pour être repris par les ventilateurs et accomplir à nouveau la même circulation. Dans ces conditions, la viande entretenue à une température constamment voisine de 0, mais supérieure à 0, ne se congèle pas et par suite ne s'altère pas ; la vie organique n'est que suspendue, et la viande se retrouve exactement dans les mêmes conditions que la viande fraîche si on la ramène à la température ordinaire. Après la traversée accomplie par le *Frigorifique* jusqu'à Buenos-Ayres, la viande emportée d'Europe présentait exactement l'aspect et la qualité de la viande fraîche : elle avait pourtant perdu un peu de son poids, 10 p. 100 environ ; mais cette dessiccation partielle lui avait donné des qualités de conservation à la température ordinaire que n'a pas naturellement celle de l'animal fraîchement tué.

Le problème du transport de la viande n'exige pas seulement que le froid soit maintenu à bord du navire ; mais il faut que le froid se conserve dans le transbordement et dans le transport depuis le port d'arrivée jusqu'aux lieux de consommation, où il sera même encore nécessaire d'assurer la conservation de la viande avant sa mise en vente.

M. Ch. Tellier étudie des appareils nouveaux dans lesquels il se propose, au moyen de la triméthylamine, d'utiliser la vapeur perdue des machines à haute pression pour la production de la glace. Nous ne pouvons nous prononcer sur ce procédé qui n'est encore qu'à l'étude.

2334. Les appareils construits par MM. Lienard et Hugot appartiennent au même type que le précédent ; seulement le liquide employé est l'éther proprement dit ou le sulfure de carbone. Ils se composent d'une pompe placée sur un socle ; celui-ci est une bâche dans laquelle circule de l'eau froide et qui reçoit le condenseur tubulaire. Un tuyau muni d'un robinet de distribution met en communication le condenseur avec le congélateur placé au-dessous dans une cave ; ce congélateur est formé d'un système tubulaire qui reçoit le liquide vaporisable à l'intérieur et qui plonge dans une bâche contenant de

l'eau salée ; un tuyau fait communiquer l'intérieur du faisceau tubulaire avec la pompe qui aspire les vapeurs.

2335. L'appareil de MM. Raoul Pictet et Cie emploie les mêmes organes et des dispositions analogues à celles précédemment décrites. Mais le liquide volatilisable est l'acide sulfureux. M. Pictet prépare cet acide en faisant arriver dans une cornue en fonte chauffée au moyen d'un foyer à houille ou à coke des vapeurs de soufre et un filet contenu d'acide sulfurique qui, réagissant l'un sur l'autre, fournissent l'acide sulfureux ; le gaz se rend dans une colonne ascendante où il laisse déposer le soufre et l'acide sulfurique en excès, et passe ensuite dans un laveur incliné où circule en sens inverse un courant d'acide sulfurique qui le dessèche ; après quoi, il se rend dans un gazomètre à huile où il est repris par une pompe qui le comprime dans un serpentin entouré de glace ; le liquide obtenu est emmagasiné dans des bonbonnes en cuivre garnies d'un robinet hermétique.

L'appareil lui-même représenté fig. 606 se compose d'un réfrigérant tubulaire cylindrique placé horizontalement dans une cuve en tôle dans laquelle se trouve placé un liquide incongelable, soit de l'eau salée, soit une solution de glycérine. Un agitateur formé d'une hélice mise en mouvement par le moteur chasse le liquide de la bâche dans l'intérieur des tubes du faisceau et multiplie le contact de ce liquide avec le réfrigérant. L'acide sulfureux liquide se volatilise dans le réfrigérant et refroidit le liquide de la bâche ; la vapeur formée est aspirée par une pompe qui la comprime dans le condenseur ; celui-ci est un cylindre tubulaire identique au réfrigérant ; un courant d'eau ordinaire passe continuellement dans les tubes pour enlever la chaleur résultant de la compression et de la liquéfaction du gaz.

La pompe est à double effet, elle est en fonte ; le piston est métallique et sans garniture ; l'acide sulfureux sert lui-même de lubrifiant ; la pompe peut être actionnée directement par la tige du piston d'un cylindre à vapeur ou au moyen d'une transmission.

Afin d'éviter l'échauffement du cylindre de la pompe, on le fait à double enveloppe et l'intervalle entre les deux enveloppes est parcouru par un courant d'eau ; dans les machines les plus récentes la tige du piston de la pompe est creuse et elle est aussi parcourue intérieurement par un courant d'eau froide.

Deux manomètres sont en communication l'un avec le réfrigérant l'autre avec le condenseur ; le premier doit indiquer en marche ré-

gulière une pression de 2 atmosphères, le second une pression de 0,4 d'atmosphère seulement.

Afin de maintenir cette différence de pression, on règle l'ouver-

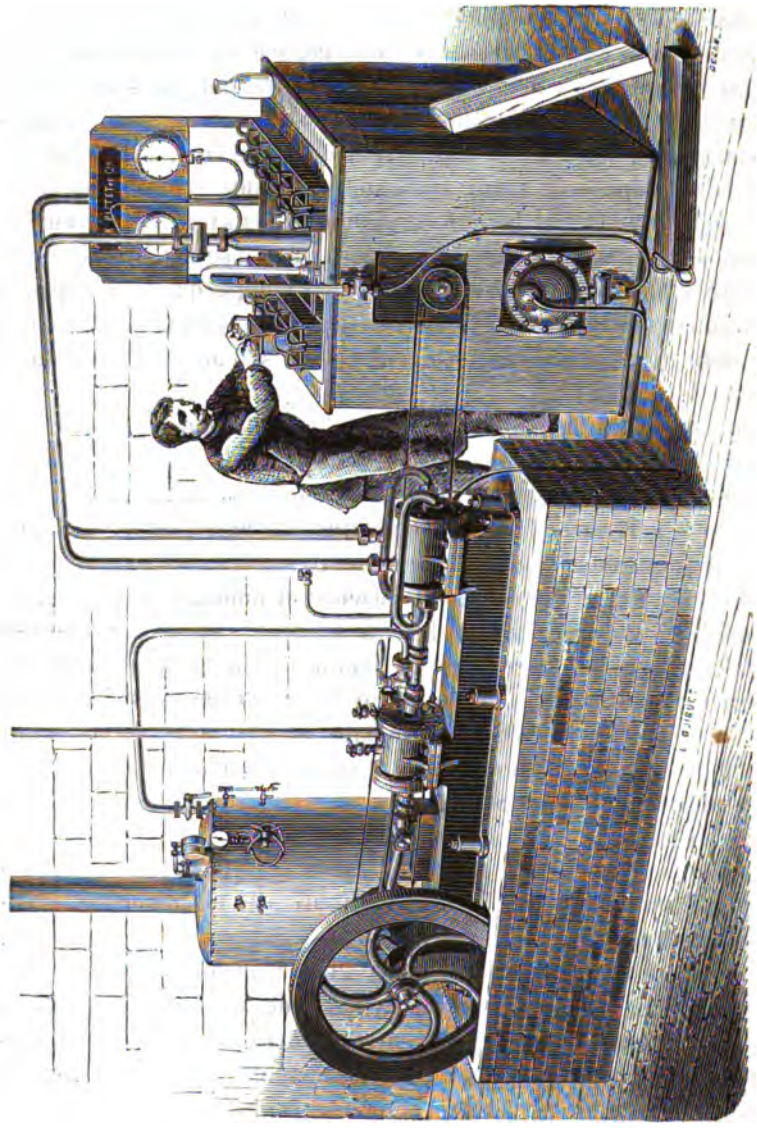


Fig. 606.

ture d'un robinet placé sur le tube qui part de la partie inférieure du condenseur et qui amène dans le réfrigérant le liquide formé.

Ce robinet est à trois voies et permet de mettre le réfrigérant en communication par une tubulure latérale avec les bonbonnes qui contiennent l'acide sulfureux, lorsqu'il s'agit de mettre l'appareil en marche ou lorsqu'on veut renouveler l'acide sulfureux dont il est impossible d'éviter la perte d'une façon absolue. Afin de diminuer autant que possible cette perte au passage de la tige du piston de la pompe, on lui fait traverser un double stuffing-box et l'intervalle est en communication par un petit tube avec le tube d'aspiration de la pompe de façon à éviter les fuites en y maintenant une pression plus faible que celle de l'atmosphère. Dans les fortes machines, le condenseur est placé à côté du réfrigérant et non point au-dessous.

Dans les appareils de 25 kilogrammes à l'heure, on prépare des blocs de 7 kilogrammes ; dans les appareils de 50 kilogrammes à l'heure et au-dessus, le poids des blocs est porté à 15 kilogrammes. La charge en acide sulfureux est de 25 kilogrammes pour la machine de 25 kilogrammes de glace à l'heure.

Les avantages réclamés par l'inventeur pour cette machine sont d'employer un liquide non combustible, inaltérable, de n'avoir point de graissage spécial, de marcher à de basses pressions et de n'employer qu'un espace restreint. D'après l'auteur le prix de la glace serait de un centime le kilogramme.

Pour obtenir la glace transparente, on double le temps nécessaire à la congélation de la glace opaque en doublant le nombre des récipients employés pour la fabrication.

Le tableau suivant donne les différents types de grandeur des machines établies par la maison Pictet et Cie, avec l'indication de la force motrice, de l'emplacement et de la quantité d'eau de condensation nécessaires.

NUMÉROS.	PRODUCTION A L'HEURE.		EMPLACEMENT.	EAU de CONDENSATION par minute.	FORCE NÉCESSAIRE.
	CALORIES.	GLACE.			
		Kilos.	Mètres carrés.	Litres.	Chevaux.
0.....	1,500	15	2	8	1
1.....	2,500	25	4	10	1 1/2
2.....	5,000	50	5	20	2
3.....	7,000	70	8	30	3
4.....	10,000	100	10	40	4
5..... ..	15,000	150	14	60	6
6.....	20,000	200	16	80	8
7...	25,000	250	20	100	10
8.....	30,000	300	25	120	12
9.....	50,000	500	45	200	25
10.....	100,000	1,000	100	400	50

2336. M. Raoul Pictet a fait de son appareil une application curieuse à la congélation des *Skating-rings ;* à Manchester, la surface offerte au patinage est de 600 mètres carrés ; la congélation est obtenue au moyen de deux machines de 300 kilogrammes. Le parquet de l'aire de patinage est formé par des tuyaux jointifs de $0^m,25$ à $0^m,30$ de diamètre ; placés dans toute la longueur, ces tuyaux sont réunis à chaque extrémité par un tuyau transversal; dans l'un de ces tuyaux transversaux arrive de l'eau glycérinée convenablement refroidie par une circulation dans les réfrigérants des machines; au-dessus de ce parquet se trouve une couche d'eau congelée de $0^m,50$ d'épaisseur ; on balaie toutes les heures pour enlever la poussière de la glace produite par l'action des patins et de temps en temps on remet une nappe d'eau pour renouveler la glace qui est transparente.

2337. Le calcul du travail théorique qu'il faut dépenser dans les machines peut se faire de la façon suivante.

Si l'on représente par p la pression dans le condenseur et par p_0 la pression dans le réfrigérant, il faudra que le gaz pris par la pompe à la pression p_0 soit amené à la pression p ; ce travail sera donc

$$\int_{p_0}^{p} p dv,$$

et comme on a d'après la formule de Poisson :

$$\frac{p}{p_0} = \left(\frac{V_0}{V}\right)^k \quad \text{.....} \quad (1)$$

k étant le rapport des capacités calorifiques du gaz à pression constante et à volume constant, il viendra en remplaçant p en fonction de v et en intégrant

$$T = \frac{p_0 V_0^k}{1-k}(V^{1-k} - V_0^{1-k}) = \frac{P_0 V_0^k}{1-k}\left[\left(\frac{V}{V_0}\right)^{1-k} - 1\right]$$

et en combinant avec la formule (1)

$$T = \frac{p_0 V_0}{k-1}\left[1 - \left(\frac{p}{p_0}\right)^{\frac{k-1}{k}}\right].$$

La connaissance de la densité du gaz permettra de calculer la valeur de v_0, volume occupé par un kilogramme de ce gaz à la pression p_0 et à la température du réfrigérant.

D'un autre côté on a

$$\frac{1 + at}{1 + at_0} = \frac{pv}{p_0 v_0};$$

en appelant t_0 la température du réfrigérant et t la température à laquelle le gaz est porté dans le cylindre par la compression on en tire

$$\frac{a(t-t_0)}{1+at_0} = \frac{pv - p_0v_0}{p_0v_0} = \frac{pv}{p_0v_0} - 1,$$

d'où

$$t - t_0 = (273 + t_0)\left(\frac{pv}{p_0v_0} - 1\right);$$

enfin, en combinant avec (1), on a

$$t - t_0 = (273 + t_0)\left[\left(\frac{p}{p_0}\right)^{\frac{k-1}{k}} - 1\right].$$

Si l'on suppose que l'eau qui sert à refroidir le gaz s'échauffe dans son parcours de θ°, et si l'on appelle c la capacité calorifique du gaz à pression constante, la quantité de chaleur qu'il faudra enlever au gaz comprimé pour le ramener à la température de liquéfaction t_0 sera $c\ (t - t_0)$; si de plus la chaleur latente de vaporisation du liquide à cette température est représentée par l, la quantité totale de chaleur que prendra l'eau sera $l + c\ (t - t_0)$ et comme chaque kilogramme d'eau emporte θ calories le nombre de kilogrammes d'eau qu'il faudra employer pour la condensation sera : $\frac{l + c\,(t - t_0)}{\theta}$.

Si enfin on représente par t_1 la température de l'eau qu'il s'agit de congeler, le nombre de calories négatives dont on dispose étant représenté sensiblement par la chaleur latente de vaporisation du liquide et chaque kilogramme de glace exigeant pour se former $79 + t_1$ calories négatives, le nombre de kilogrammes de glace obtenus par kilogramme de liquide vaporisé sera $\frac{l}{79 + t_1}$.

On voit donc que le calcul exige la connaissance des capacités calorifiques à volume constant et à pression constante du gaz, ainsi que de la chaleur latente de vaporisation du liquide qui le fournit.

La valeur du travail ainsi calculé ne peut fournir qu'une approximation assez grossière à cause des frottements de la machine qui sont relativement considérables.

2338. *Appareils de production du froid fondés sur la détente de l'air.* — Lorsqu'on comprime un gaz, il s'échauffe, et si, avant qu'il ait perdu la température qu'il a acquise par la compression, on le ramenait à son volume primitif, il reprendrait évidemment sa température initiale ; par conséquent, si un gaz comprimé se trouvait à

la température ordinaire, il se refroidirait par sa dilatation d'un nombre de degrés égal à celui dont il s'est échauffé par la compression.

2339. L'abaissement de température que subit un gaz par sa détente peut se calculer par la formule

$$t - t_0 = (273 + t_0)\left[\left(\frac{p}{p_0}\right)^{\frac{k-1}{k}} - 1\right],$$

dans laquelle t et p représentent la température et la pression initiales et t_0 et p_0 la température et la pression finales.

En prenant 15° pour température initiale et pour $\frac{p_0}{p}$ les valeurs :

2, 4, 5, 8, 10,

on trouvera pour les abaissements de température correspondants

53°, 95°, 117°, 133°, 140°.

2340. La dilatation des gaz est donc un moyen très-puissant de produire un grand abaissement de température dans ces gaz et dans les corps qu'on met en contact avec eux; mais cette méthode de refroidissement exige un travail mécanique considérable quand on veut opérer sur de grandes masses; d'ailleurs le refroidissement produit par la dilatation ne serait pas, à beaucoup près, aussi considérable que celui qui est indiqué par le calcul, à cause de la chaleur fournie par l'enveloppe.

2341. Nous rapporterons à ce sujet la belle expérience de Thilorier, qui fait voir combien est puissant le mode de refroidissement dont il s'agit. De l'acide sulfurique et du bicarbonate de soude étant introduits dans un cylindre de fonte, et n'étant mis en contact qu'après la fermeture du cylindre, il se forme de l'acide carbonique qui se liquéfie sous une pression, à 0°, de 36 atmosphères. En ouvrant un orifice par lequel le gaz sort de l'appareil, le refroidissement est de 93° au-dessous de la glace; le gaz est solidifié, et prend la forme d'une neige très-divisée.

2342. Différentes machines à produire le froid ont été imaginées en partant du principe de la détente du gaz; depuis plus de 25 ans différentes tentatives ont été faites par Garrie et Newton en Amérique, par Smith et Kirk en Angleterre; plus récemment M. Winkhausen, de Brunswick, a construit des machines qui sont entrées dans la pratique et qu'on a employées dans des brasseries allemandes.

2343. En 1873, M. Armengaud présenta à l'Académie des sciences un travail théorique sur la machine à air comprimé ; en partant des formules de Poisson M. Armengaud calcule la quantité de travail que nécessite la machine et l'abaissement de température qui peut être obtenu par la détente. Il considère deux modes de refroidissement de l'air comprimé, à savoir : 1° après la compression dans un condenseur distinct ; 2° pendant la compression en maintenant la température constante par l'injection d'eau très-divisée dans le cylindre. Le travail, dans tous les cas, est la différence entre le travail de la compression et le travail en partie restitué par la détente ; il ne dépend pour une masse déterminée que de la température initiale du gaz et du degré de la détente ; il croît lorsque ce degré augmente et pour le rapport 2 entre la pression initiale et la pression finale, le travail est environ double dans le cas d'un condenseur distinct de ce qu'il est dans le cas de l'injection d'eau. En adoptant le rapport 2 pour la détente, le travail moteur par kilogramme d'air refroidi, la température initiale étant 20°, serait de 1121 kilogrammètres ; l'abaissement théorique de la température se ferait jusqu'à 52° : ce qui correspondait à 65 kilogrammètres par calorie négative produite ou 41 kilogrammes de glace par cheval-vapeur et par heure ; en comptant sur un rendement de 0,1 seulement on obtiendrait encore 4 kilogrammes de glace par cheval et par heure.

Quoi qu'il en soit de ces déductions théoriques et de leur exactitude, on peut concevoir qu'un certain avenir est réservé aux machines à dilatation d'air.

2344. M. Paul Giffard a établi récemment une machine formée de deux cylindres superposés dans lesquels se meuvent deux pistons actionnés par la même tige ; primitivement ces cylindres étaient à double effet ; dans le type actuel ils ne sont plus qu'à simple effet, les fonds de chacun d'eux sont munis de deux soupapes, l'une pour l'admission de l'air, l'autre pour sa sortie. Le cylindre inférieur, qui est celui de compression, reçoit en quantité exactement mesurée par le jeu d'une pompe foulante de l'eau froide qui s'y introduit avec une grande vitesse par une plaque percée d'un grand nombre de trous ; cette admission se fait pendant le temps rigoureux de la marche du piston ; le mélange d'eau et d'air refroidi passe dans un réservoir placé latéralement où ils se séparent, l'eau occupant la partie inférieure, l'air comprimé se rendant à la partie supérieure ; l'eau du récipient s'écoule par un tube et vient se déverser sur une pomme d'arrosoir en jets très-fins dans un cylindre qui est traversé par l'air

froid de la machine après qu'il a traversé déjà les appareils qu'il doit refroidir; l'eau ainsi refroidie peut resservir à la condensation. Quant à l'air comprimé il passe par un tuyau dans le cylindre supérieur dit cylindre de détente où il travaille en se refroidissant et le travail ainsi obtenu vient en diminution de celui qu'il faut pour obtenir la compression.

La machine de M. Paul Giffard présente des organes dont les dispositions sont très-ingénieuses, tels que 1° le piston garni de deux doubles bandes de cuir et de caoutchouc, dont le serrage est obtenu au moyen d'une rigole circulaire régnant à l'intérieur derrière la bande de caoutchouc et qui est en communication au moyen de petits conduits percés dans la surface du piston avec la capacité dans laquelle le gaz est comprimé; on obtient ainsi une herméticité absolue, le serrage étant constamment et partout le même; 2° la soupape conique dans laquelle une disposition analogue à la précédente assure une fermeture hermétique; 3° le stuffing-box est garni au moyen d'une rondelle de caoutchouc presque durci et de forme conique dans la portion qui touche la tige de façon à obtenir le minimum de surface frottante.

LIVRE XV

CHAUFFAGE ET VENTILATION DES LIEUX HABITÉS.

2345. Nous nous occuperons, dans ce livre, du chauffage et de l'assainissement des lieux habités ; mais, avant d'examiner cette question pour les cas particuliers, nous étudierons avec soin les principes généraux qui doivent toujours servir de guide.

CHAPITRE PREMIER

Considérations générales.

2346. L'homme vicie l'air qui l'environne par la respiration et la transpiration, et, dans certaines circonstances, par des émanations méphitiques qui semblent se propager directement à travers l'air. Pour étudier les conditions de l'assainissement, il faut connaître le volume d'air à fournir par heure à chaque individu renfermé dans un espace clos pour que ce lieu soit salubre ; il faut aussi déterminer le volume d'air nécessaire pour les différents appareils d'éclairage et leur influence sur l'altération de l'air de l'espace dans lequel ils brûlent. L'homme, par l'acte même de la respiration, produit constamment de la chaleur, et cette quantité doit être évaluée, afin qu'on puisse en tenir compte, s'il y a lieu, dans l'évaluation de celle qui doit être fournie. Il est en outre indispensable de connaître les quantités de chaleur qui traversent les enveloppes de nos habitations dans les circonstances ordinaires : tous les éléments nécessaires à ce sujet ont été déterminés par l'expérience et réunis dans le premier volume de cet ouvrage. Enfin, il faut examiner les avantages et les inconvénients des différents modes de chauffage et de ventilation, afin qu'on puisse choisir, dans chaque cas particulier, celui qui est le plus convenable.

Volumes d'air nécessaires à la respiration et aux appareils d'éclairage.

2347. L'air est formé en volumes de 0,21 d'oxygène et de 0,79 d'azote ; il contient, en outre, une très-petite quantité d'acide carbonique, comprise entre 4 et 6 dix-millièmes et une quantité de vapeur d'eau, qui varie dans des limites très-étendues, suivant les circonstances atmosphériques. D'après M. Dumas, le nombre des expirations, par minute, est de 16 à 17, chacune de $0^{mc},000315$, ou à peu près 1/3 de litre ; le volume d'air expiré, par heure, est alors de $0^{mc},33$, et cet air renferme 0,04 d'acide carbonique. D'après cela, si la respiration était la seule cause d'insalubrité et si l'air expiré n'était pas mêlé avec l'air aspiré, il suffirait de donner à chaque individu 1/3 de mètre cube d'air par heure.

2348. Mais l'homme, par son organisation, agit encore d'une autre manière pour vicier l'air qui l'environne : c'est par la transpiration pulmonaire et cutanée. Les vapeurs qu'il émet se dissolvent dans l'air ; comme elles sont toujours accompagnées de matières organiques, elles lui communiquent une mauvaise odeur, et ces matières sont, sans aucun doute, la cause la plus puissante d'insalubrité des lieux habités ; car, dans certains cas, où l'air des pièces qui renferment un grand nombre d'individus affecte péniblement la respiration, on ne trouve pas dans sa composition un accroissement d'acide carbonique qui puisse expliquer la différence d'effet produit par cet air et par l'air pur. D'après cela, il est plus convenable de prendre, pour la dose d'air à fournir par individu et par heure, le volume nécessaire pour dissoudre la vapeur d'eau résultant de la transpiration.

On a fait beaucoup d'expériences pour déterminer le poids de la vapeur d'eau résultant de la transpiration cutanée et pulmonaire ; mais les nombres observés varient dans des limites assez étendues, de 45 grammes à 77, dont la moyenne est de 61 grammes. M. Barral, par des expériences récentes, a obtenu 50 grammes. On comprendra facilement la diversité des résultats obtenus, en considérant la variété des circonstances qui influent sur la transpiration des hommes, même à l'état de repos. Un mètre cube d'air saturé à 15° renferme à peu près 13 grammes de vapeur d'eau ; si l'air était à moitié saturé, le volume d'air de ventilation devrait être compris entre $45 : 6,5 = 6^{mc},92$, et $77 : 6,5 = 11^{mc},84$. Ce serait entre ces limites que devrait se trouver la dose de ventilation, si l'air qui em-

porte les produits de la respiration et de la transpiration se dégageait pour faire place à l'air neuf sans se mêler avec lui ; ce qui arriverait si l'air pénétrait dans la pièce par un grand nombre de points du sol et s'écoulait par la partie supérieure, circonstances qui peuvent être réalisées dans certains cas, dans les grands amphithéâtres par exemple.

2349. Mais, quand le chauffage de la pièce a lieu par l'air de ventilation, arrivant par un certain nombre d'orifices pratiqués dans le sol, ou à une hauteur quelconque, cet air s'élève vers le plafond et descend ensuite, par couches sensiblement isothermes, jusqu'aux orifices de départ qui doivent être placés près du plancher ; il résulte de là que lorsqu'il est respiré, il est déjà mêlé avec les gaz et les vapeurs qui ont été produits par la respiration et la transpiration pendant le temps qui s'est écoulé depuis son entrée ; il n'est donc jamais pur, et il faut alors avoir recours à des expériences directes pour déterminer la ration d'air à fournir à chaque individu. Or, comme la quantité d'acide carbonique qui se trouve dans l'air varie proportionnellement à la ventilation, si on connaissait l'effet produit par de l'air renfermant différentes doses d'acide carbonique, on pourrait en déduire la limite inférieure de la quantité d'air de ventilation, en supposant un mélange complet de l'air pur et de l'air déjà altéré par la respiration et la transpiration. Cherchons d'abord la quantité d'acide carbonique qui se trouve dans l'air avec une ventilation de 7^{mc} et de 11^{mc} par personne et par heure. D'après M. Dumas, un homme, dans les conditions ordinaires, brûle par heure, par l'effet de sa respiration, une quantité de carbone et d'hydrogène équivalente à 10 grammes de carbone ; en admettant la combustion de 1 gramme d'hydrogène, comme l'équivalent de l'hydrogène en carbone est $3^{gr},33$, il se brûle $6^{gr},66$ de carbone qui produisent $1^{m},865 \cdot 0,00666 = 0^{mc},024$ d'acide carbonique, et une ventilation de 7^{mc} et de 11^{mc} par heure élève la proportion d'acide carbonique dans l'air à 0,0017 et 0,0011. Voici maintenant les résultats des expériences.

2350. Dans une salle d'école primaire renfermant 180 garçons de 7 à 10 ans, chauffée et ventilée par la disposition qui sera indiquée plus loin, j'ai toujours reconnu qu'avec une ventilation de 6^{mc} par enfant et par heure il n'y avait qu'une faible odeur dans la salle. M. Leblanc a répété ces expériences en mesurant la ventilation dans des circonstances différentes et en faisant l'analyse de l'air ; voici les résultats obtenus. La ventilation étant de 6 mètres

cubes par enfant et par heure, la quantité d'oxygène disparue dans cette atmosphère a été de 0,0016 ; la quantité d'acide carbonique pouvait donc s'élever au plus à 0,0022 ; aucune odeur ne régnait dans la salle ; la respiration n'y était nullement gênée ; la température était de 17°. Le volume d'air étant réduit par heure à 4^{mc},65 par individu, la proportion d'acide carbonique s'est élevée à 0,0047 ; il n'y avait pas d'odeur sensible. La salle ayant été complétement fermée et la ventilation régulière annulée, après le même nombre d'heures de séjour que précédemment, la proportion d'acide carbonique s'est élevée à 0,0087 ; l'atmosphère était lourde, l'instituteur se plaignait de la chaleur, et attendait avec impatience le moment de pouvoir ouvrir les fenêtres. La température intérieure était de 18° ; le thermomètre extérieur marquait 16°, l'air était un peu agité.

2351. L'appréciation par l'odeur est trop délicate pour qu'on puisse regarder ces expériences comme bien concluantes. Celles qui ont été faites à l'ancienne Chambre des députés, semblent nécessiter un volume d'air plus considérable. La chambre des séances, comme nous le dirons plus loin, est chauffée par des calorifères placés dans les caves; l'air chaud pénètre dans la salle par des ouvertures percées dans les contre-marches, et il sort de la salle par des orifices nombreux pratiqués à une certaine hauteur tout autour de la salle, et dans le plafond des tribunes. L'air s'écoule ensuite par plusieurs tuyaux ménagés dans l'épaisseur des murailles et communiquant avec tous les orifices dont nous venons de parler, et arrive dans une large cheminée, au milieu de laquelle se trouve un foyer alimenté par du coke. La ventilation se règle principalement au moyen d'un registre vertical, placé dans le canal qui conduit l'air froid aux calorifères. Le chauffeur, homme intelligent et qui connaît très-bien l'appareil qu'il est chargé de diriger, m'a dit qu'il avait reconnu par expérience la hauteur à laquelle devait être placé ce registre, dans les différentes circonstances, pour que l'on ne se plaignît pas d'une odeur désagréable dans la salle ; qu'un peu au-dessous de ces limites l'odeur devenait sensible.

Une expérience a été faite à la fin d'une séance nombreuse, vers quatre heures du soir ; le volume d'air froid introduit était de 1^{mc},9 par seconde, ou de 6,840 mètres cubes par heure ; et, comme la salle renfermait de 1,000 à 1,100 personnes, la ventilation était de 6 à 7 mètres cubes par personne et par heure, du moins en n'ayant égard qu'à l'air fourni par les calorifères. Mais, comme il y avait nécessairement de l'air appelé par les fissures des portes et des fenêtres

et par les portes qui s'ouvrent de temps en temps, le chiffre réel de la ventilation ne pouvait se déterminer que par la mesure de la vitesse de l'air dans tous les tuyaux qui le conduisent à la cheminée d'appel : cette vitesse a été observée dans deux embranchements, mais on a oublié de la mesurer dans le troisième, de sorte qu'il a été impossible de déterminer exactement le volume de l'air écoulé. Ces expériences, répétées depuis par M. Leblanc, ont donné 4400 mètres cubes pour le volume d'air sortant des caves, et 11000 mètres cubes pour le volume total débité par les cheminées d'appel ; le volume d'air par personne et par heure était ce jour-là de 18 mètres cubes, et l'air renfermait 0,0025 d'acide carbonique.

2352. Dans les expériences que je viens de rapporter, j'ai eu l'occasion de constater un fait fort singulier. L'odeur dans les cheminées d'appel était extrêmement désagréable, et cependant l'air de la salle était sans odeur et les cheminées très-propres. Ce phénomène ne semble pouvoir s'expliquer que de deux manières : 1° en supposant que l'odeur de l'air est augmentée par le mouvement ; 2° en admettant que les matières animales en dissolution ou en suspension dans l'air éprouvent, par leur contact prolongé, une fermentation qui en change la nature. Ces deux causes concourent probablement à produire l'effet dont il est question. Je dois dire cependant que M. Leblanc n'a pas observé cette mauvaise odeur.

2353. Ce chimiste a fait des expériences fort intéressantes sur l'influence de l'acide carbonique à haute dose dans l'atmosphère respiré par un chien de forte taille, un cochon d'Inde, un verdier et une grenouille. Ces animaux étaient renfermés dans une pièce exactement close, pourvue d'une vitre à travers laquelle on pouvait observer ce qui se passait dans la chambre ; un tuyau en plomb, placé à la partie supérieure de la pièce et percé d'un grand nombre de petits orifices, versait constamment de l'acide carbonique pur produit par un appareil à eau de Seltz. Au bout de 7 minutes de dégagement, le malaise du chien était visible ; au bout de 15 minutes il souffrait beaucoup : à cet instant on avait consommé 10 kilogrammes d'acide sulfurique ; au bout de 25 minutes, la bougie s'est éteinte ; enfin, au bout de trois quarts d'heure de dégagement effectif, l'oiseau et le chien étaient agonisants et la grenouille énormément gonflée : la proportion d'acide carbonique était alors de 30,4 pour 100. On ne peut rien déduire de bien positif de ces expériences, parce qu'il est peu probable que, malgré la précaution de faire écouler l'acide carbonique par la partie supérieure de la pièce et par de très-petits filets,

le mélange des gaz ait été bien établi ; d'ailleurs la composition de l'air, aux différentes époques indiquées, n'a pas été observée.

2354. D'autres expériences, faites par M. Leblanc, ont eu pour objet de déterminer la dose d'acide carbonique correspondante à l'extinction de la bougie. « Plusieurs expériences faites sur l'air puisé dans des ballons où la combustion avait cessé de se soutenir ont donné 4 et 4,5 p. 100 d'acide carbonique en volume ; une bougie placée dans cette atmosphère s'éteint subitement ; la même proportion d'acide carbonique dans l'air provenant de la respiration constitue également une atmosphère dans laquelle les bougies s'éteignent (*Annales de chimie et de physique*, t. V, p. 237). D'après ces dernières expériences, la bougie s'éteint dans une atmosphère qui ne renferme que 0,17 ou 0,165 d'oxygène, comme celui qui sort de nos poumons.

La flamme des chandelles persiste quelque temps après l'extinction des bougies ; il en est de même des lampes des mineurs garnies de leur porte-mèche ; les lampes à double courant d'air, ou même les lampes des mines dégarnies de leur porte-mèche, peuvent encore brûler quand les autres modes d'éclairage ne peuvent plus servir. Lorsque l'air renferme de 4 à 5 p. 100 d'acide carbonique, et que la flamme d'une bougie ne peut plus subsister, la respiration devient gênée, et le travail est encore possible, pourvu que la température ne soit pas trop élevée. Mais quand l'atmosphère renferme 10 p. 100 d'acide carbonique, cette atmosphère devient irrespirable, et les hommes qui y pénétreraient s'exposeraient à une asphyxie presque immédiate. « M. Leblanc, dans son Mémoire sur la composition de l'air (*Annales de chimie et de physique*, t. XV), rapporte que, étant monté, pour y vider un flacon plein de mercure, dans une entaille, à 1 mètre seulement au-dessus de la couronne de la galerie, espace dont l'air renfermait 10 p. 100 d'acide carbonique, au bout d'une à deux minutes il fut pris de défaillance, sans avoir éprouvé de malaise préalable. Le maître mineur, homme robuste, qui l'accompagnait, après le même séjour dans l'entaille, fut saisi de vertiges et de nausées qui ont duré quelques instants après le retour dans un air pur. La diminution de la proportion d'oxygène par un accroissement de celle de l'azote produit le même effet que quand elle provient de la présence de l'acide carbonique. Il résulte de là que l'acide carbonique qui est versé dans l'air par l'acte de la respiration et par la combustion, n'agit qu'en diminuant la proportion d'oxygène libre, et non pas par une action directe sur nos organes. »

2355. D'après les expériences faites à la Conciergerie par MM. Boussingault, Leblanc et moi, et que je rapporterai plus loin, la dose d'air nécessaire à un détenu renfermé dans une cellule doit être portée à 10 mètres cubes par heure ; mais la cellule dans laquelle l'expérience a été faite contenait une cuvette mobile, et avait, par conséquent, une cause exceptionnelle d'insalubrité.

2356. Enfin, on a reconnu que, dans les hôpitaux, les salles de chirurgie ne pouvaient être assainies et dépouillées de toute mauvaise odeur, qu'avec une ventilation de près de 100 mètres cnbes d'air par individu et par heure.

2357. Il résulte de tout cela : 1° qu'une ventilation de 6 mètres cubes par enfant et par heure est une limite au-dessous de laquelle il ne faut jamais descendre, quand l'air de ventilation est mêlé avec l'air de la pièce et qu'il n'existe aucune cause particulière d'insalubrité ; 2° que, quand la ventilation a lieu de bas en haut, par tous les points du sol ou par des orifices très-nombreux et très-rapprochés, une ventilation de 15 à 20 mètres cubes d'air par personne et par heure fournit à chacun de l'air paraissant suffisamment pur ; 3° que, dans presque tous les cas, il y a des causes particulières d'insalubrité, pour lesquelles le chiffre de la ventilation doit être élevé à un point que l'expérience seule peut déterminer ; 4° que l'acide carbonique versé dans l'air par la respiration n'agit point directement sur nos poumons, mais seulement en diminuant la proportion d'oxygène ; 5° que les quantités d'acide carbonique que l'on trouve dans l'air par l'analyse décroissent à mesure que la ventilation augmente, mais ne lui sont point exactement proportionnelles, comme cela devrait être dans des circonstances identiques ; cela tient probablement à ce que l'air de ventilation ne se distribue pas toujours uniformément dans la pièce.

2358. Les nombres indiqués dans le numéro précédent ne sont que des minima, suffisant tout au plus pour atténuer l'état de gêne résultant de la viciation de l'air ; aussi convient-il de les augmenter notablement si l'on veut que les personnes qui se trouvent dans les locaux ventilés y soient dans des conditions réelles d'hygiène et de bien-être ; il sera donc utile de porter la proportion d'air à 12 ou 15 mètres cubes par heure et par enfant et à 25 ou 30 pour les adultes ; encore sera-t-il nécessaire suivant les cas d'augmenter ces nombres quand des causes particulières d'insalubrité viendront s'ajouter aux causes naturelles que nous avons indiquées.

2359. Dans tous les cas, indépendamment du chiffre total de ven-

tilation, il y a encore deux conditions indispensables à remplir : la première consiste à répartir uniformément la ventilation dans toute l'étendue de la pièce, car on ne peut pas évidemment admettre que, sous le rapport de l'assainissement, le volume d'air en excès que certaines personnes reçoivent compense le volume d'air insuffisant qui serait réservé pour les autres ; la seconde, à ventiler avec de l'air pur. En Angleterre, on a cherché à purifier l'air de ventilation en le faisant passer à travers un mur de coke en gros morceaux, recevant à sa partie supérieure de l'eau en petits filets très-nombreux ; après quelque temps, on a trouvé au fond du réservoir dans lequel l'eau s'est écoulée un dépôt d'une grande ténuité et d'une extrême fétidité.

2360. *Influence des appareils d'éclairage.* — Les lieux habités sont encore viciés par les appareils d'éclairage. Pour en apprécier l'influence, voici les quantités de matières consommées, par heure, par les appareils le plus en usage :

Chandelle de 6 à la livre.	Bougie.	Lampe gros bec.
11 gr.	11 gr.	42 gr.

La flamme d'une bougie s'éteignant lorsque l'air renferme 4 p. 100 d'acide carbonique, il est très-probable que la combustion doit éprouver des influences analogues à celles qui se produisent sur la respiration, et, par suite, il faut compter sur une ventilation minimum de 6 mètres cubes par bougie et par heure, et sur 24 mètres cubes par lampe à gros bec, pour que la combustion ait toujours lieu dans de bonnes conditions. La même proportion de 24 mètres cubes ou un peu plus serait à observer par chaque bec de gaz éclairant la salle, en supposant des becs de forme courante brûlant environ 100 litres de gaz à l'heure.

2361. *Influence de la grandeur des pièces.* — Quand les pièces ont une grande élévation, l'air qu'elles renferment peut suffire à la respiration pendant un certain temps ; mais, excepté dans les églises, il est rare que le volume d'air soit suffisant lorsque le nombre de personnes est considérable et que leur séjour doit se prolonger. Il est utile de calculer ce volume, pour fixer l'époque à laquelle doit commencer la ventilation. Cet air est toujours employé utilement, attendu que celui qui a servi à la respiration ou qui a été en contact avec le corps, étant à une température supérieure à 30°, tend à s'élever ; il se produit alors de doubles courants, qui amènent successivement l'air de la pièce à la partie inférieure. A l'ancienne Chambre

des députés, le volume de la salle était de plus de 4,000 mètres cubes et suffisait à peine pendant une demi-heure dans les séances nombreuses.

2362. *État hygrométrique de l'air.* — L'état hygrométrique de l'air a une grande influence sur la transpiration pulmonaire et cutanée. En effet, la perte de vapeur d'eau par l'acte de la respiration est proportionnelle à la différence entre la tension de la vapeur à 38°, et la tension de l'air extérieur ; la perte de vapeur par l'évaporation cutanée est aussi sensiblement proportionnelle à cette différence, en admettant, du moins, que l'air en contact avec la peau en prend la température et la conserve jusqu'à ce qu'il soit saturé. On conçoit alors que, à mesure que l'état hygrométrique de l'air s'élève, ces deux transpirations diminuent, et que le contraire arrive quand son état hygrométrique s'abaisse. Ces variations dans la transpiration doivent nécessairement occasionner des perturbations dans les fonctions organiques. Une trop grande dessiccation de l'air, qui peut résulter seulement de son échauffement, produit souvent de violents maux de tête. Il est donc nécessaire que l'air ne soit ni trop sec ni trop humide ; on admet généralement qu'il doit être à moitié saturé ; alors, à 15°, chaque mètre cube renferme à peu près 6^{gr},5 de vapeur d'eau. Il faut donc, à la suite des appareils de chauffage, verser dans l'air échauffé destiné à la ventilation une quantité d'eau suffisante pour qu'il contienne la dose de vapeur que nous venons d'indiquer.

2363. *Atmosphères asphyxiantes.* — M. Leblanc a fait des expériences d'un grand intérêt sur les effets produits dans un espace clos, chauffé directement par la combustion du charbon ; un chien de forte taille y était renfermé ; on mit dans un fourneau quelques morceaux de braise incandescente que l'on recouvrit de braise non allumée, et la porte fut fermée. Au bout de 5 à 6 minutes, la flamme surmontait le combustible, et le malaise de l'animal était visible ; après 10 minutes, il tombait épuisé ; enfin, au bout de 25 minutes, il succombait. A cet instant, la bougie brûlait encore avec le même éclat ; 10 minutes après la mort de l'animal, la bougie s'est éteinte, après avoir pâli de plus en plus. A ce moment, le ballon d'analyse a été rempli, et l'analyse a donné : oxygène, 19,19 ; azote, 76,62 ; acide carbonique, 4,61 ; oxyde de carbone, 0,54 ; hydrogène carboné, 0,04. M. Leblanc considère les effets produits comme provenant de la présence de l'oxyde de carbone, car la dose d'acide carbonique était beaucoup moins grande que celle qu'un chien de même taille avait

supportée dans l'expérience que nous avons rapportée (2353) ; et d'après des expériences directes, à la dose de 4 à 5 p. 100 dans l'air, il fait périr instantanément un moineau ; un centième de ce gaz dans l'air détermine la mort d'un oiseau au bout de 2 minutes. J'ajouterai aux faits constatés par M. Leblanc que, dans les forges où l'on dirige par des tuyaux de conduite les gaz qui, s'échappant du gueulard des hauts fourneaux, et qui sont principalement formés d'azote et d'oxyde de carbone, quand il y a des fuites et que les ouvriers se trouvent dans les jets de gaz, ils tombent évanouis ; mais ils reprennent bientôt leurs sens quand on les place immédiatement dans l'air pur, pourvu que l'action de l'oxyde de carbone n'ait pas été très-prolongée. L'asphyxie par l'acide carbonique et par l'oxyde de carbone ont des caractères bien différents qui permettent de les distinguer : par l'acide carbonique, ou, plus exactement, par la diminution de la proportion d'oxygène, l'agonie est longue et convulsive, tandis que l'oxyde de carbone agit brusquement et produit son effet dans un temps très-court.

Chaleur produite par la respiration.

2364. Dans l'acte de la respiration, il se produit une véritable combustion, et cette combustion dégage la même quantité de chaleur que celle qui serait produite dans un calorifère par la combustion de la même quantité de carbone, comme les expériences de Dulong, et plus tard celles de Despretz, l'ont démontré. D'après M. Dumas, les quantités de carbone et d'hydrogène brûlés, par heure, dans l'acte de la respiration, sont équivalentes, comme nous l'avons déjà dit, à 10 grammes de carbone, et, par conséquent, la chaleur émise dans le même temps s'élève à 0,010. 8000 = 80 unités.

2365. C'est cette chaleur qui maintient le corps humain à une température voisine de 38°, et qui compense celle qu'il communiqne constamment aux corps environnants par rayonnement et par contact ; mais une grande partie de cette chaleur est employée à former la vapeur qui est produite par la transpiration cutanée et celle qui se trouve dans l'air sortant des poumons ; et comme cette vapeur ne se condense pas, qu'elle est entraînée par l'air de ventilation, la chaleur qu'elle renferme n'est utilisée d'aucune manière et doit être retranchée de la quantité totale. Or, en admettant le chiffre moyen, 61 grammes, pour la quantité de vapeur d'eau produite, la chaleur de vaporisation

s'élèverait à 618.0,061 = 37,7, et, par conséquent, la quantité de chaleur qui serait employée au chauffage de l'air serait de 80 — 37,7 = 42,3. Il est important de remarquer que cette quantité de chaleur pourrait élever 9^{mc} d'air de 0° à 15°. Ainsi, dans un grand nombre de cas, elle serait suffisante pour échauffer l'air de ventilation, d'autant plus qu'il faudrait ajouter à la chaleur que nous avons calculée la chaleur émise par le refroidissement de la vapeur de 38° à 15°, qui est de 23.047 = 10,81.

2366. D'après MM. Andral et Gavarret, la quantité de carbone brûlé, pendant une heure, par un homme adulte et bien portant, dans l'acte de la respiration, est de 11^{gr},3, et par une femme adulte 6^{gr},4. Le premier nombre augmenterait à peu près d'un dixième ceux que nous avons obtenus en partant des expériences de M. Dumas.

2367. Il résulte de tout ce que je viens de dire que la ventilation est indispensable dans les lieux habités, parce que l'air est toujours altéré par la respiration et la transpiration cutanée, et de plus, dans un grand nombre de cas, parce qu'il existe d'autres causes d'insalubrité. La ventilation s'effectue quelquefois naturellement ; mais le plus souvent elle doit être produite par la chaleur ou par une action mécanique. Nous examinerons d'abord, d'une manière générale, ces trois modes de ventilation.

Ventilation naturelle.

2368. Si l'air atmosphérique et celui qui remplit nos habitations étaient exactement à la même température, l'air serait partout immobile, du moins si l'on fait abstraction des vents ; mais les variations diurnes de température tendent à produire des courants qui marchent tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre. Considérons une pièce pourvue d'une cheminée plus ou moins élevée, et dans laquelle l'air extérieur puisse pénétrer facilement par les fissures des portes et des fenêtres. La pièce et la cheminée pourront être considérées comme un canal composé de deux branches, l'une horizontale, et l'autre verticale, ouvert par les deux bouts. Or, d'après ce que nous avons vu précédemment, si l'air du canal est à une plus haute température que l'air extérieur, il s'écoulera par l'orifice le plus élevé, tandis qu'il s'échappera par l'orifice inférieur dans le cas contraire. En général, pendant l'été et le printemps, la température des appartements est plus basse que celle de l'air pendant le jour, et plus haute pendant la nuit ; alors, pendant le jour, l'air atmosphérique s'introduit par le point le plus

haut, pour s'écouler par le point le plus bas, et le contraire existe pendant la nuit. En hiver, l'air des appartements étant, en général, à une température constamment plus élevée que celle de l'air atmosphérique, l'air s'écoule toujours par l'orifice supérieur.

2069. M. le docteur Böhm a cherché à régulariser ce moyen de ventilation et l'a appliqué en différentes circonstances. Les dispositions qu'il emploie ont été décrites dans une communication faite à la « Wiener Bauhutte » en 1865 par M. Sicard von Sicardsburg. Elles consistent à disposer dans les murs de refend ou par exception dans les murs de façade du bâtiment que l'on veut ventiler des conduits verticaux de section suffisante et s'élevant dans toute la hauteur du bâtiment jusqu'au-dessus du toit, ce seront les conduits du toit ; d'autre part, on pratique dans les murs de façade d'autres conduits verticaux qui n'ont que la hauteur de la pièce à ventiler. Les tuyaux de toit s'ouvrent dans l'intérieur de la pièce par des orifices placés à la partie supérieure et à la partie inférieure de celle-ci et vont déboucher à l'extérieur par leur partie supérieure ; les tuyaux d'étage s'ouvrent en bas vers l'intérieur et vers l'extérieur, et en haut vers l'intérieur seulement ; ces orifices sont munis de valves qui permettent de diriger d'une façon convenable l'air à l'entrée et, à la sortie.

La section de ces canaux devra se faire pour chacun aussi grande que le permettra l'épaisseur des murs ; des canaux larges présentent en effet moins de résistance au passage de l'air et, leur nombre étant moindre, la surveillance en est plus facile.

Ce système de ventilation ne peut guère s'établir qu'autant que la pièce à ventiler confine sur deux faces opposées à l'air extérieur. Il y aura dans chaque façade des canaux d'étage dont la somme des sections sera la même et l'une de ses sommes sera égale à celle des sections des canaux du toit placées dans un des murs de refend.

Voici dans ces conditions comment doivent être disposées les ouvertures de ces différents tuyaux pour les différents cas qui peuvent se présenter :

Quand l'air de la pièce sera plus chaud que celui de l'extérieur, on laissera pénétrer l'air extérieur par la partie inférieure des canaux d'étage (*fig.* 607) ; cet air sera dirigé vers le haut de la pièce, la traversera en s'abaissant et viendra sortir à la partie inférieure du tuyau du toit pour s'élever dans ce tuyau qui formera cheminée d'appel.

Quand au contraire la température extérieure sera plus élevée que celle de la chambre à ventiler, on fermera les orifices supérieurs des

canaux d'étage (*fig.* 608) et on laissera ouverts les orifices inférieurs ainsi que les ouvertures des canaux du toit ; l'air descendra alors par ceux-ci et s'écoulera après avoir traversé la pièce de haut en bas par les orifices inférieurs des tuyaux d'étage en vertu de son excès de pression dû à son excès de densité à l'intérieur.

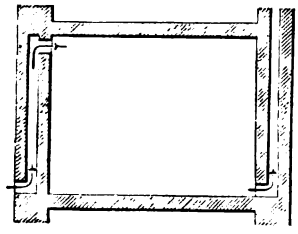


Fig. 607.

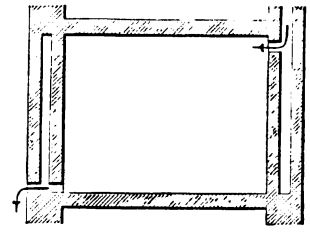


Fig. 608.

Si l'on veut profiter de l'action solaire à laquelle une des façades peut se trouver exposée à un moment donné, les canaux d'étage de ces murs seront ouverts en bas et à l'extérieur, et en haut à l'intérieur (*fig.* 609) ; les canaux d'étage du mur opposé seront ouverts à la partie inférieure ; l'air s'élèvera dans les premiers pour se déverser dans la pièce à la partie supérieure et sortira à la partie inférieure des seconds.

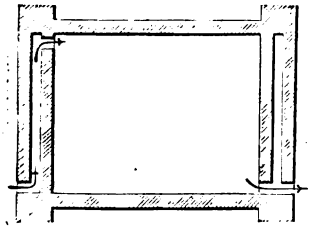


Fig. 609.

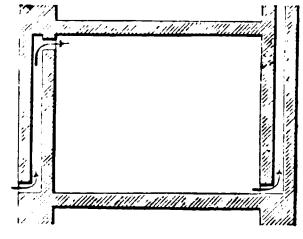


Fig. 610.

Dans le cas où l'une des façades est exposée à l'action d'un vent plus ou moins énergique qu'on veut utiliser pour la ventilation ; on laissera ouverts les orifices des canaux d'étage de ce côté (*fig.* 610) et on laissera sortir l'air par les orifices inférieurs des canaux d'étage de la façade opposée, et quelquefois il sera avantageux aussi de laisser ouverts les orifices des canaux du toit pour l'évacuation de l'air.

Enfin en hiver, tout en appliquant les moyens indiqués, on s'arrangera de façon à ce que, comme dans la figure 611, l'air soit

échauffé par un poêle ou un calorifère avant son entrée dans la pièce.

On comprend sans peine que ce mode de ventilation doit être variable ; les différentes causes qui peuvent le produire étant pour ainsi dire fortuites, il faudra les prendre comme elles se présenteront, et dans tous les cas on ne pourra qu'en diminuer l'action au moyen des valves sans qu'il y ait moyen au contraire de l'augmenter.

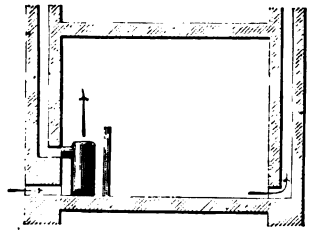


Fig. 611.

Ce système sera donc d'application restreinte ; il ne conviendra guère que dans les cas où aucune des autres dispositions ne serait possible à cause des dépenses constantes qu'elle entraîne. D'un autre côté, la nécessité d'une surveillance constante des conditions d'entrée et de sortie de l'air et la manœuvre des valves qui doit être faite au moment convenable et pour chaque changement dans les conditions de l'extérieur ou de l'intérieur de la pièce rendent bien difficile l'emploi régulier de cette méthode, qui cependant a eu un certain nombre d'applications en Allemagne et en Autriche.

2370. Il est facile de se rendre compte de ce qui arriverait dans un canal vertical, creusé dans le sol, ne communiquant avec le jour que par l'orifice supérieur. En hiver, l'air étant plus chaud au fond du puits qu'à sa surface, il s'établira nécessairement deux courants qui renouvelleront l'air plus ou moins rapidement. En été, la température, à la surface du sol, étant, en général, plus élevée qu'au fond du puits, les courants n'existeront plus.

2371. Examinons maintenant ce qui arrivera dans un canal allongé, creusé dans le sol, et dont les deux extrémités viennent s'ouvrir à la surface du sol.

On sait que, à une profondeur peu considérable, la température est constante et ne participe point aux variations diurnes et annuelles de température de la surface du sol ; à de plus grandes profondeurs, la température reste invariable pour chaque couche, mais va en augmentant à peu près de 1 degré par 25 à 30 mètres à mesure qu'on descend ; la température de la première couche à température constante est égale à la température moyenne de la surface du sol. Il résulte de là que les parois des grandes excavations souterraines sont, en général, plus chaudes en hiver que la surface du sol, et que, pour celles

qui n'ont pas une grande profondeur, la différence de température peut changer de signe dans les saisons intermédiaires, et même le jour et la nuit.

Il est facile de voir d'après cela que, si le canal dont il s'agit est situé à une grande profondeur, la température de ses parois se trouvant plus élevée que celle de l'air pendant l'hiver, et plus froide pendant l'été, l'air atmosphérique pénétrera, en été, dans le canal par l'orifice le plus élevé, pour s'écouler par l'orifice le plus bas, et que le contraire aura lieu en hiver.

Lorsque les deux orifices seront au même niveau, l'équilibre existera, mais il ne sera stable que dans le cas où l'air du canal sera plus froid que l'air atmosphérique ; dans le cas contraire, lorsque l'équilibre aura été rompu, le mouvement continuera dans le même sens. En effet, supposons d'abord que l'air du canal soit à une température plus élevée que l'air extérieur ; aussitôt que le mouvement aura commencé, la partie du canal dans laquelle l'air atmosphérique aura pénétré possédera une moindre force ascensionnelle que l'autre, et le mouvement se prolongera, quoique l'air, en cheminant, prenne progressivement la température de l'enveloppe. Mais, si l'air du canal souterrain est à une plus basse température, il est évident que, si l'air extérieur pénétrait dans une des branches du canal, l'état primitif tendrait à se rétablir, et se rétablirait effectivement après plusieurs mouvements oscillatoires.

2372. Si le canal souterrain, au lieu d'avoir la forme d'un siphon renversé, était disposé en sens contraire, c'est-à-dire si le canal horizontal qui réunit les deux branches verticales était plus élevé que les deux extrémités qui communiquent avec l'air par deux courts canaux horizontaux, disposition qu'on ne pourrait réaliser que dans une montagne, il est évident que, dans tous les cas, il arriverait le contraire de ce que nous avons dit pour un canal ayant la forme d'un siphon. Ainsi, quand l'air du canal sera plus froid que l'air extérieur, il s'écoulera par l'orifice le plus bas ; quand il sera plus chaud, l'écoulement aura lieu par l'orifice le plus élevé ; et, quand les deux orifices seront à la même hauteur, l'équilibre ne sera stable que quand l'air du canal sera plus chaud que l'air atmosphérique.

2373. Dans les deux formes différentes du canal, et quand les deux orifices ne sont pas à la même hauteur, on pourrait déterminer par le calcul la vitesse d'écoulement, si l'on connaissait la température de l'air dans les différentes parties du circuit. Mais ces températures ne peuvent pas se déduire de celle de l'air atmosphérique et de celles

des différents points de la paroi, parce que l'air qui traverse le canal n'en prend point instantanément la température, et que la différence varie avec la section et la nature plus ou moins conductrice du terrain.

A plus forte raison, il serait impossible de calculer les dimensions d'un canal qui, pour un état donné de l'air et pour des températures également données des différentes couches du terrain, produisît un effet déterminé.

Ventilation par la chaleur.

2374. La ventilation par la chaleur peut être produite de deux manières : 1° en échauffant l'air qui doit sortir ; 2° en échauffant l'air avant son entrée. Le premier mode est employé quand l'air appelé ne doit pas servir au chauffage ; le second, quand l'air vicié doit être remplacé par de l'air échauffé : dans ce dernier cas, il se présente des circonstances dans lesquelles l'air vicié doit, en outre, recevoir à sa sortie un certain accroissement de température pour s'échapper avec une vitesse suffisante.

2375. Lorsque l'air expulsé doit être échauffé dans la cheminée d'appel et que la ventilation doit être très-faible, on peut se contenter de placer dans la cheminée une lampe à double courant d'air ou un bec de gaz. Mais, quand la ventilation doit être puissante, on emploie généralement des foyers alimentés par des combustibles, d'un prix moins élevé, et presque toujours des combustibles solides. L'air d'appel ne devant jamais être chauffé que d'un petit nombre de degrés, de 20° à 40°, la grille ne doit occuper qu'une petite partie de la section de la cheminée, comme on le voit dans la figure 615. B est la cheminée ; D, la porte du foyer, qui peut être alimenté ou par l'air de ventilation, ou par l'air extérieur, en ouvrant la porte du cendrier E. Cette disposition a l'inconvénient de rétrécir la cheminée ; mais on peut l'éviter en plaçant le foyer en dehors de la cheminée, comme l'indique la figure 616. Mais dans l'un et dans l'autre système il se produit un effet qui pourrait devenir fâcheux si la cheminée n'avait pas une très-grande hauteur ; le courant d'air chaud s'élevant contre une des parois, la température ne devient uniforme dans la section qu'à une certaine hauteur ; si la cheminée n'était pas très-élevée, il pourrait s'établir sur la face opposée un courant descendant qui anéantirait le tirage. On peut obvier à cet inconvénient en plaçant la grille au milieu de la cheminée, ou mieux en faisant dé-

gager l'air brûlé d'un foyer latéral par un tuyau de fonte annulaire, percé d'un grand nombre d'orifices qui répartiraient uniformément l'air chaud dans la section. La vitesse d'écoulement de l'air par la cheminée étant toujours très-petite, il est nécessaire de la surmonter d'un chapeau fixe ou mobile ; la disposition de la figure 613 est souvent employée, et n'a presque jamais donné lieu à des retours de

Fig. 612.

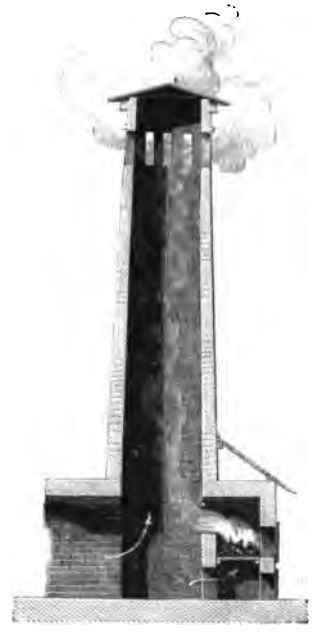


Fig. 613.

l'air, même par les plus grands vents. La cheminée doit être en maçonnerie d'une grande épaisseur, afin que la quantité de chaleur renfermée dans la maçonnerie régularise le tirage, malgré les variations d'intensité du foyer. Dans tous les cas, mais surtout pour les petites consommations de combustible, il serait préférable d'employer un foyer à alimentation continue, qui permettrait de maintenir la ventilation pendant la nuit sans la présence du chauffeur, en ayant soin de prendre une disposition dont nous avons parlé et qui permet de régler à chaque instant la consommation de combustible au moyen d'un registre placé à l'orifice d'accès de l'air, sous la grille du foyer.

2376. Les circonstances qui influent sur le tirage des cheminées

d'appel, savoir, la température à laquelle l'air y est élevé et la température extérieure, agissent d'une manière différente, suivant que l'air appelé est à la température extérieure ou à une température constante ; et, dans ce dernier cas, suivant que l'air monte ou descend pour gagner la cheminée d'appel, et suivant la hauteur des prises d'air. Comme ces différentes circonstances se présentent dans la ventilation des lieux habités, nous les examinerons successivement.

Cheminées d'appel appelant de l'air à la température extérieure.

2377. Le cas dont il s'agit se rencontre dans tous les établissements ventilés, pendant les mois de l'année où le chauffage est suspendu. La vitesse d'accès v est donnée par la formule

$$v^2 = \frac{2ga}{(1+R)} \frac{H(t-\theta)(1+a\theta)}{(1+at)^2}$$

dans laquelle H représente la hauteur de la cheminée, t la température moyenne de l'air qui la parcourt, θ la température de l'air extérieur, a le nombre 0,00365, et R la somme des résistances que l'air éprouve dans tout son parcours, résistance que nous savons calculer dans tous les cas qui peuvent se présenter. Le facteur $\frac{2gHa\,(t-\theta)\,(1+a\theta)}{(1+at)^2}$ représente la vitesse théorique, c'est-à-dire celle que prendrait l'air s'il n'éprouvait point de résistance : ainsi, quand le circuit ne change pas et que t et θ varient seuls, la vitesse d'accès est toujours la même fraction de la vitesse théorique.

2378. Quand le circuit est formé d'un canal rectiligne d'une section constante, la résistance provient uniquement du frottement, et, comme alors R = KL : D, on voit que la vitesse v varie sensiblement en raison inverse de la racine carrée de la longueur du canal.

2379. On voit aussi, à l'inspection de la formule, que la vitesse v varie à peu près proportionnellement à la racine carrée de la hauteur de la cheminée, parce qu'en général ces variations de hauteur n'ont que très-peu d'influence sur la valeur de R.

2380. Quant à l'influence de la valeur de t, on ne peut pas l'apprécier à l'inspection de la formule ; pour reconnaître comment v varie, supposons d'abord $\theta = o$, prenons successivement pour t :

2° 4° 6° 8° 10° 12° 14° 16° 18° 20° 25° 30° 35°

et calculons les valeurs de la racine de at : $(1 + at)^2$; nous trouverons pour ces valeurs

0,08	0,12	0,14	0,17	0,18	0,20	0,21	0,22	0,24	0,25	0,28	0,30	0,32

et pour des valeurs de t égales à

40°	45°	50°	55°	60°	65°	70°	75°	80°	85°	90°	95°	100°

on trouve, pour les valeurs de la même fonction de t,

0,33	0,35	0,36	0,37	0,38	0,39	0,40	0,41	0,42	0,43	0,43	0,44	0,44

et la valeur maximum de cette fonction, quand t augmente indéfiniment, a lieu pour $t = 273°$ et il est égal à 0,50.

Si l'on supposait $\theta = 15°$, température moyenne de la saison d'été, et t successivement égal à

17°	19°	21°	23°	25°	27°	29°	31°	33°	35°

on trouverait, pour les valeurs de la racine carrée de : $\frac{a(t-\theta)(1+n\theta)}{(1+at)^2}$

0,083	0,116	0,141	0,162	0,180	0,196	0,210	0,223	0,238,	0,246

la valeur maximum de cette fonction est encore 0,5 et elle a lieu pour $t = 273 + 2\theta$ (543).

Ainsi, le même excès de température $t - \theta$ produit sensiblement le même effet pour $\theta = 0°$ et $\theta = 15°$.

2381. *Détermination de l'effet produit par une cheminée d'appel, appelant de l'air à la température extérieure.* — On peut d'abord mesurer directement l'effet produit, en observant la vitesse moyenne de l'air dans une section quelconque du canal, avant ou après le foyer. Ces expériences se font avec une grande facilité, au moyen de l'anémomètre ; mais il faut que la vitesse de l'air ne soit pas trop petite, qu'elle dépasse $0^m,12$, minimum d'indication de ces instruments ; que le tuyau dans lequel on place l'anémomètre ne soit pas trop petit; et enfin, dans le calcul de la vitesse moyenne, il faut suivre la méthode indiquée (512). Ce moyen de déterminer l'effet produit est le meilleur et le plus sûr; nous allons en voir cependant d'autres moins exacts, qu'on pourrait employer à défaut d'anémomètre, ou quand on ne peut pas faire usage de cet instrument.

2382. On pourrait obtenir une évaluation du volume d'air appelé par la cheminée, si l'on connaissait le poids du combustible brûlé par heure, et la proportion n d'oxygène libre que renferme l'air de la cheminée. En effet, désignons par v le volume d'air rigoureusement

nécessaire pour brûler 1 kilogramme de combustible, par V le volume d'air appelé par la cheminée, en supposant que cet air alimente le foyer. Le volume d'air non altéré et renfermant 0,21 d'oxygène sera $V - v$, et la proportion d'oxygène qui se trouvera dans le volume V sera évidemment $0,21\ (V - v) : V$; ainsi on aura

$$n = \frac{0,21(V - v)}{V}; \quad \text{et par suite} \quad V = \frac{0,21v}{0,21 - n}; \ \ldots\ldots(a)$$

si l'on suppose que la valeur de V soit successivement égale à

$5v$; $10v$; $15v$; $20v$; $25v$; $30v$; $35v$; $40v$;

on trouve pour les valeurs de n,

0,168; 0,189; 0,196; 0,199; 0,2016; 0,2030; 0,2040; 0,2047.

Si l'on pouvait négliger la quantité d'hydrogène que renferme le combustible, et si l'on mesurait la proportion n' d'acide carbonique que renferme l'air, on aurait, en conservant les notations précédentes, $n' = 0,21 - n$, et pour les valeurs de V que nous avons supposées, on trouverait pour les valeurs de n'

0,042; 0,021; 0,014; 0,011; 0,0084; 0,0070; 0,0060; 0,0053.

Ainsi, pour des valeurs de V qui dépassent 10 v, ce qui arrive toujours, car elles dépassent souvent 100 v, les valeurs de n sont rapprochées de 0,21, et celles de n' sont très-petites. Cette méthode exige, pour donner des résultats certains, une précision dans les analyses difficile à réaliser. Elle ne peut donc être employée que dans des circonstances exceptionnelles. J'en ai parlé pour faire voir qu'il ne suffit pas, pour résoudre une question, d'une relation entre l'inconnue et certaines données de la question; il faut encore que cette relation soit telle que les erreurs, inévitables dans l'estimation des données, n'en produisent pas de très-grandes dans la valeur des inconnues.

2383. On pourrait obtenir une valeur suffisamment approchée, dans presque tous les cas, de l'effet d'une cheminée d'appel, si l'on connaissait le poids P du combustible brûlé par heure, et l'accroissement $t - \theta$ de température que l'air reçoit en pénétrant dans la cheminée. En effet, la quantité totale de chaleur produite dans une heure sera $P \times C$, C représentant la puissance calorifique du combustible; le poids P′ d'air appelé par heure sera donné par la relation

$$P'(t - \theta) \,.\, 0,2377 = P \,.\, C; \quad \text{d'où} \quad P' = \frac{PC}{(t - \theta) \,.\, 0,2377}.$$

Cette valeur de P′ donnerait facilement le volume d'air appelé par

seconde, et, par suite, la valeur de la vitesse d'accès de l'air dans la cheminée.

La valeur de $t - \theta$ s'obtiendrait facilement au moyen du thermomètre différentiel à air décrit (656).

2384. Toutes ces méthodes exigent des expériences plus ou moins compliquées; il serait plus avantageux d'avoir des instruments qui indiquent à chaque instant, sur un cadran ou sur une échelle divisée, l'état de la ventilation. On pourrait employer la disposition de l'anémomètre décrit (514 et suivants). Les manomètres à tube incliné, à flotteur ou à cloche (524 et suivants) seraient préférables aux autres; tous les deux pourraient être employés pour déterminer l'appel au bas de la cheminée, en faisant communiquer l'intérieur du vase avec un tube traversant l'épaisseur de la muraille; comme la vitesse d'écoulement est proportionnelle à la racine carrée de la résistance, et que cette résistance est constante, en déterminant une seule fois le volume d'air appelé correspondant à une certaine dépression, on formerait facilement une table donnant les volumes d'air appelés correspondants aux différentes dépressions. Le manomètre à flotteur est surtout applicable aux appareils dans lesquels la vitesse d'écoulement et la résistance sont très-faibles, parce qu'il est très-sensible. Si l'on voulait mesurer directement la vitesse, il faudrait employer la disposition indiquée (519), et faire communiquer les deux tubes, l'un avec le réservoir et l'autre avec l'extrémité du tube de verre quand on ferait usage du manomètre à tube incliné. Pour se servir du manomètre à flotteur, cet instrument devrait être placé dans une cage en verre exactement fermée; l'un des tubes communiquerait avec la cage, l'autre avec l'intérieur du réservoir d'air de l'appareil. Si le tube placé parallèlement à l'axe de la cheminée était fixé au sommet de celle-ci, comme la pression latérale serait égale à la pression extérieure, il suffirait, en employant l'un ou l'autre instrument, de faire communiquer le tube en question avec l'intérieur du réservoir d'air.

2385. *Détermination de la quantité de combustible à brûler dans le foyer d'une cheminée d'appel, appelant l'air à la température extérieure, pour produire un effet déterminé.* — Si l'on connaissait toutes les dimensions du canal, on pourrait calculer la valeur de R, qui représente la somme totale des résistances que l'air éprouve en le parcourant; on aurait alors l'accroissement de température par la formule :

$$v^2(1 + R)(1 + at)^2 = 2gaH(t - \theta)(1 + a\theta).$$

L'accroissement de température et le poids de l'air appelé étant connus, on en déduira facilement le poids du combustible à brûler par heure, pour une certaine valeur de θ.

2386. La valeur de R pourrait aussi se déduire de l'observation de la température correspondant à une certaine consommation de combustible, comme je l'ai indiqué (2383).

2387. Une question qui se présente souvent dans la ventilation par les cheminées appelant l'air à la température ordinaire, est celle-ci : une cheminée d'appel fonctionnant et produisant une vitesse d'accès v, la température intérieure étant t, et la température extérieure θ, quelle est la température t', que l'air doit recevoir dans la cheminée pour que la vitesse d'accès devienne v', θ restant le même? On a

$$v^2 = \frac{2gHa(t-\theta)(1+a\theta)}{(1+at)^2(1+R)}\ ; \qquad v'^2 = \frac{2gHa(t'-\theta)(1+a\theta)}{(1+at')^2(1+R)}\ ;$$

en posant $v' : v = m$, et divisant ces équations membre à membre, on obtient :

$$m^2 = \frac{t'-\theta}{(1+at')^2} \cdot \frac{(1+at)^2}{(t-\theta} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (a)$$

Il résulte de ce que nous avons dit n° 543, que m a une limite qui correspond à $t' = 273 + 2\theta$, ce qui donne la valeur limite :

$$m_1^2 = \frac{(1+at)^2}{(1+a\theta)^2} \cdot \frac{273+\theta}{4(t-\theta)}\ ;$$

par exemple pour $t = 30°$, $\theta = 15$, on a $m_1 = 2{,}304$.

L'équation (a) fournira, pour toute valeur de m comprise entre 0 et 2,304, deux valeurs de t', l'une plus grande, l'autre plus petite que $273 + 2\theta$; il est évident que c'est la plus petite de ces deux valeurs que l'on devra employer.

Si l'on supposait successivement m égal à

1,5	2	2,2	2,304

l'équation (a) donnerait pour t'

54°,5	111°,4	171°	273°

et les consommations de combustible rapportées à celles correspondant à la première vitesse seraient $\frac{m(t'-\theta)}{t-\theta}$, soit :

3,95	12,85	22,88	39,63.

2388. Si, comme cela arrive quelquefois, la cheminée partait des

combles, la pièce au-dessous étant maintenue à une température constante T, et désignant sa hauteur par H', on aurait :

$$v^2 = \frac{2g(1+a\theta)}{1+R}\left\{\frac{Ha(t-\theta)}{(1+at)^2} + \frac{Ha(T-\theta)}{(1+aT)^2}\right\}$$

et

$$v'^2 = \frac{2g(1+a\theta)}{1+R}\left\{\frac{Ha(t'-\theta)}{(1+at')^2} + \frac{H'a(T-\theta)}{(1+aT)^2}\right\}$$

Si l'on représente comme précédemment le rapport v' : v par m, on aura :

$$m^2 = \frac{H(t'-\theta)(1+aT)^2 + H'(T-\theta)(1+at')^2}{H(t-\theta)(1+aT)^2 + H'(T-\theta)(1+at)^2} \cdot \frac{(1+at)^2}{(1+at')^2},$$

équation du second degré par rapport à t',
en supposant $\theta = o$, $T = 15$, $t = 30$, $H = 10^m$, $H' = 5^m$, il vient

$$\frac{t'}{(1+at')^2} = 30,8m^2 - 6,54.$$

La valeur de m a un maximum qui est $m_1 = 1,55$ et qui correspond à $t' = 273$.

En faisant m successivement égal à

1,3	1,5	1,55

on trouve pour t' :

82°	158°,3	273°

et pour les rapports de quantités de chaleur consommées

3,55	7,91	14,1

2389. *Cheminée d'appel appelant l'air à la température extérieure par un canal dans lequel la résistance peut être négligée.* — Le cas dont il s'agit est, par exemple, celui des cheminées d'appel des lieux d'aisances des écoles, des hôpitaux, des prisons, des casernes, car la somme des orifices d'accès de l'air dans les fosses étant toujours très-grande relativement à la section de la cheminée, les pertes de charge dans tout le trajet peuvent toujours être négligées ; il en est de même de celle qui provient du frottement dans la cheminée. En outre, dans ce cas, la température de l'air dans la cheminée étant toujours très-petite, on peut négliger le terme at dans le dénominateur et $a\theta$ dans le numérateur de la valeur de v; toutes les questions relatives à ces sortes de cheminées d'appel se résolvent ainsi d'une manière très-simple. Désignons par A la quantité

de chaleur produite par seconde, par x l'excès de température que l'air reçoit dans la cheminée, par S sa section, on aura évidemment :

$$S . v . 1,3 . 0,24 . x = A,$$

ou

$$S^2(0,312)^2 . x^2 . 2gHax = A^2; \quad \text{ou} \quad 0,0067S^2 . H . x^3 = A^2 \ldots\ldots (1)$$

et comme on a en même temps

$$v^2 - 2gHax = 0,0716Hx \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

les équations (1) et (2) peuvent servir à résoudre toutes les questions qui peuvent se présenter.

Je suppose qu'on veuille évacuer 2 mètres cubes d'air par seconde avec une cheminée de 10 mètres de hauteur et de $0^m,50$ de section ; on aura $v = 2^m : 0,5 = 4^m$; l'équation (2) donnera $x = 22°,34$, et l'équation (1) donnera $A = 2^c,89$, ce qui correspond à 10404 calories par heure, ou à $1^k,24$ de houille. Si l'on rendait la consommation de houille constante, et si la cheminée avait une section 2 ou 3 fois plus grande, l'équation (1) donnerait pour les valeurs de x, 14°,07, et 9°,29; les vitesses correspondantes déduites de l'équation (1) seraient $3^m,17$ et $2^m,57$; et les volumes écoulés par seconde seraient de $3^{mc},17$ et de $3^{mc},85$. Si, au contraire, on rendait les sections 2 ou 3 fois plus petites, l'équation (1) donnerait, pour les valeurs de x, 35°,29 et 46°,46 ; les vitesses correspondantes seraient $5^m,026$ et $5^m,76$; et les volumes écoulés seraient $1^{mc},25$ et $0^{mc},95$. On voit, d'après cela, qu'il y a de l'avantage à augmenter la section de la cheminée; mais il faut toujours que cette section soit très-etite relativement à la hauteur, afin que la chaleur produite se répartisse uniformément; cependant, dans les cas dont il s'agit, une grande hauteur est moins nécessaire que quand l'appel a une résistance considérable à vaincre, parce qu'on n'a pas à craindre qu'il se forme dans la cheminée un courant d'air extérieur en sens contraire du courant d'air chaud. Il ne serait pas prudent de donner au courant une vitesse inférieure à 2 mètres, dans la crainte que l'appel ne fût trop influencé par les vents. Il est toujours utile de garnir le sommet de la cheminée de l'un des appareils décrits (641 et suiv.), et même de préférer ceux qui utilisent le vent au profit du tirage.

On peut se servir, pour alimenter le foyer, de toute espèce de combustible ; la tourbe et les mottes de tannée seraient très-avantageuses, parce que ces combustibles sont à bon marché et qu'ils brû-

lent lentement. Dans tous les cas, le foyer doit être placé dans la cheminée, ou mieux dans un renflement communiquant avec elle, et le cendrier doit être garni d'un tuyau à registre qui permette de régler à volonté la combustion. Un poêle à alimentation continue serait d'un service très-commode. On peut aussi se servir avec avantage d'un ou plusieurs becs de gaz.

2390. Il semble au premier abord que, pour éviter tout dégagement de l'air des fosses, il suffit qu'un courant s'établisse des cuvettes aux fosses, quelque petit qu'il soit ; mais il n'en est pas ainsi, à cause des variations de la pression atmosphérique. Si la pression barométrique descendait brusquement, ou dans un temps assez court, de 2 centimètres, variation qui se manifeste assez fréquemment, le volume d'air de la fosse deviendrait 1,027 de ce qu'il était ; et si, pendant le temps de la variation, la cheminée n'avait pas appelé un volume d'air égal aux 0,03 de celui de la fosse, il est évident que l'air de celle-ci se serait dégagé dans les cabinets. Il est donc important que la ventilation dépasse une certaine limite, afin de diminuer la durée du dégagement de l'air des fosses, lorsque le baromètre descend. Si l'on voulait fixer à une minute la durée de la sortie des gaz des fosses pendant les plus grandes variations brusques du baromètre, qui ne dépassent jamais 3 centimètres, il faudrait que la cheminée appelât par minute un volume d'air égal aux 0,04 de celui de la fosse ; en supposant que la capacité de cette dernière soit de 50^{mc}, 75^{mc}, 100^{mc}, les 0,04 de ces valeurs sont de 2^{mc}, 3^{mc}, 4^{mc} ; et les volumes à évacuer par seconde seraient de $0^{mc},033$; $0^{mc},050$; 0^{mc}, 066 ; et par conséquent, en supposant une vitesse seulement de 1 mètre, les sections des cheminées seraient de $0^{mq},033$; $0^{mq},050$; $0^{mq},066$.

2391. On trouve dans quelques établissements une disposition des tuyaux de communication des cuvettes avec les fosses, consistant à prolonger les tuyaux au-dessous de la voûte de la fosse, et à fixer à la partie inférieure une cuvette dont les bords sont plus élevés que les extrémités des tuyaux. Par cette disposition, aussitôt que la cuvette est remplie, toute communication des cuvettes et des fosses est interceptée par un joint hydraulique, et par conséquent les émanations des fosses ne peuvent pas se répandre dans les cabinets, si les fosses communiquent avec l'extérieur au moyen d'une cheminée, et dans le cas où la fosse serait exactement fermée, quand la différence des niveaux de l'extrémité du tube et des bords de la cuvette est suffisante pour qu'un excès de pression de 2 ou 3 centi-

mètres de mercure (variations de pression qui se manifestent assez fréquemment), c'est-à-dire de 27 à 40 centimètres d'eau, ne puisse pas faire descendre le liquide de la cuvette au-dessous des bords du tuyau. On évite ainsi le dégagement de l'air des fosses; mais les cabinets restent infectés par les matières récentes qui occupent la partie inférieure des tuyaux, et il faut, par conséquent, que ces cabinets soient fortement ventilés pour faire disparaître toute odeur.

2392. *Influence des dimensions de la cheminée d'appel.* — Nous avons vu que l'effet des cheminées d'appel augmente proportionnellement à la racine carrée de leur hauteur; par conséquent, il convient de leur donner la plus grande hauteur possible, pourvu toutefois que les circonstances locales le permettent sans trop grande dépense. Les cheminées d'appel qui partent de la surface du sol ont rarement plus de 30 mètres de hauteur; mais celles qui sont employées à la ventilation des mines de houille, étant formées, en grande partie, par un puits qui descend jusqu'à la profondeur des travaux, atteignent jusqu'à 200 mètres de hauteur; pour ces dernières, un prolongement plus ou moins considérable au-dessus de la surface du sol est presque sans influence.

Il est encore plus important de donner aux cheminées une section convenable. Considérons, par exemple, un canal d'une section constante, aboutissant à une cheminée ayant la même section; si l'on rendait la section de la cheminée 2 fois, 3 fois, 4 fois plus petite, pour que l'appel restât le même, la vitesse d'écoulement par la cheminée devrait croître dans le même rapport, et, par suite, les excès de température de l'air dans la cheminée devraient augmenter dans un plus grand rapport que les carrés de ces nombres, comme on peut le voir à l'inspection de la formule (2377). Si, au contraire, on augmentait la section, il y aurait seulement un accroissement d'effet résultant de la détente et de la diminution des frottements dans la cheminée. On voit, d'après cela, que, quelles que soient la forme et les dimensions du canal qui précède la cheminée, il y a toujours avantage à donner à la cheminée la plus grande hauteur et la plus grande section; mais, dans chaque cas particulier, la hauteur est limitée par les dépenses de construction, et la section par la nécessité de donner à l'air qui s'écoule une vitesse suffisante pour éviter l'influence des vents, et pour que l'écoulement se fasse à plein orifice, ce qui n'aurait pas lieu avec une section trop considérable relativement à la hauteur.

2393. *Influence de la résistance du canal et manière de la déter-*

miner. — On voit facilement, à l'inspection de la formule (2377), combien il est important que la valeur de R soit le plus petite possible. Par exemple, si l'on avait $R = 9$, $t = 35$, $\theta = 15$, pour obtenir la même ventilation avec une résistance double, on devrait avoir à peu près $20.19 = (t' - 15)\,10$; d'où $t' = 53°$; si la valeur de R devenait 2 fois plus petite, on aurait $20.5,5 = (t' - 15)\,10$, d'où $t' = 26°$; le calcul exact donne pour ces deux cas 55°,5 et 25°,6.

2394. La valeur de R représente, comme nous l'avons vu, la somme totale des pertes de charge dans tout le circuit, rapportée à la charge d'écoulement réel; sa valeur est facile à calculer. Le circuit se compose toujours de la cheminée, d'un ou de plusieurs espaces, dont la section est très-grande relativement à la section de la cheminée, et où la vitesse de l'air est très-petite; d'un certain nombre de petits tuyaux égaux, disposés de manière à régulariser la ventilation; et enfin d'un canal plus ou moins long qui conduit l'air à la cheminée.

2395. Pour mieux faire comprendre le mode de calcul, prenons un exemple particulier, le plus compliqué qui puisse se présenter : une prison cellulaire. Nous la supposons de 200 cellules, réparties dans deux corps de bâtiments parallèles, à trois étages, y compris le rez-de-chaussée, formant les faces d'une grande galerie fermée en dessus; les cellules de chaque étage s'ouvrent sur un balcon qui règne sur toute la longueur de la galerie; nous supposerons qu'au-dessous des balcons se trouve un canal renfermant des tuyaux de chauffage; que l'air extérieur entre dans la galerie par un ou plusieurs orifices, après avoir reçu une température voisine de 15°; qu'il pénètre dans les canaux de chauffage pour y prendre un accroissement de température représentant la chaleur perdue par les vitres et les murailles de la cellule; que de chaque cellule il descend, par un tuyau vertical, dans un canal à très-grande section qui règne dans toute la longueur des bâtiments, et qu'au delà il est conduit par un autre canal dans la cheminée. Supposons que la vitesse du courant soit la même dans tous les tuyaux, excepté, bien entendu, dans les élargissements inévitables, et désignons par H et D la hauteur et le diamètre de la cheminée, par l et d la longueur et le diamètre ou le côté du conduit qui amène l'air du canal de chauffage à l'orifice de sortie, orifice qui est le même pour toutes les cellules; par l' et d' la longueur et le diamètre du plus grand tuyau de descente; enfin, par L et D' la longueur et le diamètre de chacun des tuyaux qui amènent l'air à la cheminée. Négligeons le frottement dans les

parties rélargies du circuit, les contractions et les détentes à l'entrée et à la sortie des tuyaux; remarquons qu'il y a quatre accroissements brusques de section à l'entrée de l'air dans la galerie, un à l'entrée dans le canal de chauffage sous les balcons, dans la cellule, un dans le canal au-dessous du sol, qu'il y a quatre changements de direction à angle droit dans chaque canal d'air chaud au-dessous du plancher et le long des murs de chaque cellule, et l'équivalent à peu près de deux changements de direction à angle droit dans le canal dont nous avons désigné la longueur par L, nous aurons d'après les formules du livre II :

$$R = 4 + 4 + 2 + \frac{HK}{D} + \frac{lK}{d} + \frac{l'K}{d'} + \frac{LK}{D'}.$$

Supposons que la hauteur de la cheminée d'appel soit de 30 mètres; que chaque détenu doive recevoir 20 mètres cubes d'air par heure, et que la vitesse d'accès de l'air dans la cheminée soit limitée à 2 mètres, afin de rendre moins sensible l'action des vents. Le volume d'air appelé par seconde sera égal à $200 \cdot 20 : 3600 = 1^{mc}\,1111$, et le diamètre D de la cheminée sera à peu près $0^m,84$; chacun des conduits des cellules aura pour section $1,1111 : 400 = 0^m\,00275$; et, en les supposant carrés, leur côté sera de $0^m,052$; d'après les dimensions ordinaires des cellules, on aura $l = 5^m$, et $l' = 7^m$; la valeur de D' sera égale à 0^m, 595, et on peut prendre 5 mètres pour la longueur du canal; alors la valeur de R devient

$$R = 4 + 4 + 2 + 0,86 + 2,31 + 3,23 + 0,20 = 16,60.$$

Ainsi la valeur de R + 1 différerait peu de 18, et le facteur $\sqrt{\frac{1}{R+1}}$ serait à peu près égal à 0,23; ainsi la vitesse d'accès de l'air dans la cheminée serait inférieure au quart de la vitesse théorique.

2396. Remarquons maintenant que, si l'on augmentait la section de la cheminée et de tous les carneaux, mais de manière que la vitesse fût toujours la même dans tous, les trois premiers termes de la valeur de R ne changeraient pas, les quatre derniers seuls diminueraient; si, par exemple, toutes les sections étaient rendues 4 fois plus grandes, chacun de ces termes deviendrait seulement 2 fois plus petit, et la limite inférieure de la valeur de R serait égale à 10; ainsi, quel que soit l'accroissement de toutes les sections, la vitesse d'écoulement restera toujours inférieure à un tiers de la vitesse théorique.

2397. Mais si, sans changer la section de la cheminée, on augmente

les sections de tous les autres carneaux, le quatrième terme 0,86, qui représente le frottement dans la cheminée, restera seul constant, et les autres termes diminueront rapidement. Supposons, par exemple, que toutes les sections des carneaux deviennent 4 fois plus grandes, les vitesses de l'air y seront 4 fois plus petites; et, comme les pertes de charges sont proportionnelles aux carrés des vitesses rapportées à celles de l'écoulement, les trois premiers termes deviendront 16 fois plus petits, et les trois derniers 32 fois plus petits. Ainsi, la valeur de R deviendrait $0,62 + 0,86 + 0,18 = 1,66$; et la vitesse réelle d'accès dans la cheminée serait égale à 0,61 de la vitesse théorique. La limite extrême aurait lieu quand les sections seraient assez grandes pour que tous les termes, excepté celui qui représente le frottement de l'air dans la cheminée, pussent être négligés; alors la vitesse serait égale à 0,78 de la vitesse théorique.

2398. Il est important de remarquer que si, dans l'expression générale de la vitesse d'accès théorique, on prend pour θ la valeur moyenne des mois de chauffage, et si l'on suppose que l'air arrive dans la cheminée à 15°, sans que, dans le trajet, il y ait accroissement ou perte de charge, ce qui arriverait si les orifices d'appel étaient à la hauteur du foyer d'appel, et que l'air ne fût pas suréchauffé dans la cheminée, la vitesse théorique serait égale à $4^m,27$; ainsi, pour obtenir une vitesse d'écoulement réelle égale à 2 mètres, il suffirait que le facteur provenant des résistances fût égal à $2 : 4,27 = 0,468$, ce qui correspond à $R = 3,54$. Mais alors, pour des valeurs de θ plus petites, il y aurait accroissement de vitesse, qu'il faudrait modérer par un registre, si l'on voulait conserver la vitesse de 2 mètres, et il ne faudrait allumer le foyer d'appel que pour des températures supérieures.

2399. Dans tout ce que je viens de dire, j'ai supposé que l'air ne se refroidissait pas dans la cheminée; c'est une supposition qu'on peut admettre sans crainte de s'éloigner sensiblement de la vérité, pourvu qu'elle soit en briques et d'une épaisseur convenable, car nous avons vu (588) combien la perte de chaleur, dans les cheminées en briques parcourues par de l'air à 300°, était faible et avait peu d'influence sur le tirage. Nous avons de même admis que l'air des cellules ne se refroidissait pas dans son trajet jusqu'à la cheminée, cette hypothèse n'est jamais rigoureusement exacte; il y a une perte de chaleur difficile à évaluer, car elle dépend de circonstances trop compliquées; cependant, quand il n'y a pas de conduites placées dans les combles, ce refoidissement doit être assez faible; enfin on

ne peut pas avoir égard dans les calculs à l'appel d'air extérieur par les fissures des surfaces de circuit. On ne doit donc considérer les résultats du calcul que comme une approximation suffisante pour diriger les ingénieurs, et il sera toujours nécessaire de déterminer par des expériences, après la construction des appareils, à quelle température l'air doit être surchauffé à son entrée dans la cheminée, pour obtenir la ventilation demandée. Ces expériences se font facilement au moyen de l'anémomètre, et permettent de déterminer, pour une certaine valeur de la température extérieure, la consommation de combustible correspondante à cette ventilation ; nous allons examiner les moyens de rendre la ventilation constante, quelle que soit la température extérieure.

2400. *Conduite du foyer pour obtenir une ventilation constante.* — Le cas que nous considérons, je le répète, est celui où l'air appelé est à la température extérieure, ou à une température constante, mais où, dans tout le circuit qui précède la cheminée, il n'y a ni perte ni accroissement de charge produisant des variations d'appel ; dans ce cas, la méthode la plus simple et la plus exacte pour diriger le foyer, consisterait à placer à côté du chauffeur un manomètre à eau, disposé comme je l'ai indiqué (656), et qui donnerait avec une très-grande précision la valeur de $t - \theta$, ou de l'excès de la température de l'air dans la cheminée sur la température extérieure ; le foyer étant dirigé de manière que cet excès reste le même, la ventilation sera également constante ; du moins elle ne variera que dans des limites très-rapprochées. En prenant 15° pour la température moyenne des six mois d'été, — 3° et + 32° pour les températures extrêmes, les ventilations varieraient dans le rapport des nombres 1,033 ; 1, et 0,977 ; la combustion serait réglée par un registre placé dans le cendrier. On pourrait aussi mettre à côté du chauffeur un des manomètres que nous avons décrits (523 et suiv.), et dont le réservoir communiquerait avec un petit tube qui viendrait s'ouvrir au bas de la cheminée ; les dépressions indiqueraient les charges correspondantes à l'écoulement. Le manomètre incliné, qui est le plus simple, serait suffisant, car les vitesses d'écoulement sont rarement inférieures à 2 mètres, ce qui correspond à une charge en eau de $0^{mm},265$, et comme les vitesses sont presque toujours réduites à un tiers ou à un quart de la vitesse théorique, la dépression du manomètre serait de $9 \,.\, 0^{mm},265 = 2^{mm},385$, ou de $16 \,.\, 0,265 = 4^{mm},24$, dépressions qui, avec une inclinaison du tube égale à 1 : 10, correspondraient à des longueurs de colonnes inclinées de $2^{c},28$ et de $4^{c},24$. Il ne serait pas impossible de placer un

de ces appareils dans le cabinet du directeur de l'établissement pour servir de contrôle permanent de la ventilation et du service du chauffeur.

2401. On parvient encore à obtenir une ventilation sensiblement constante, en brûlant dans le foyer constamment la même quantité du même combustible, car dans ces conditions la valeur de $t - \theta$ reste constante. Les variations d'intensité du foyer entre deux chargements consécutifs seraient sans influence, à cause de la grande quantité de chaleur renfermée dans la maçonnerie qui environne le foyer, comme le démontrent les expériences faites à la prison Mazas, et que nous rapporterons plus loin, mais on aurait lieu de craindre une certaine inégalité de ventilation résultant des variations dans la qualité du combustible et surtout dans les circonstances atmosphériques.

Cheminées d'appel appelant de l'air à une température constante, différente de la température extérieure.

2402. Le cas que nous considérons maintenant est celui de toutes les cheminées d'appel des lieux habités pendant la saison du chauffage ; les phénomènes sont bien plus compliqués que ceux que nous venons d'examiner, parce que, suivant le mode de chauffage, les positions des orifices d'accès de l'air extérieur, de l'air échauffé dans la cheminée d'appel, il y a des colonnes d'air chaud dont la charge agit tantôt dans le même sens que celle de la cheminée d'appel, tantôt dans un sens contraire. Nous examinerons successivement les différents cas qui peuvent se présenter.

2403. 1° *L'air extérieur entrant échauffé au niveau du sol, s'élevant et descendant ensuite pour s'écouler également au niveau du sol dans la cheminée d'appel.* — C'est un mode de chauffage et de ventilation très-fréquemment employé ; l'air chaud s'élève verticalement en se refroidissant, s'étale au-dessous du plafond et descend principalement contre les surfaces intérieures des vitres et des murailles auxquelles il transmet une partie de la chaleur nécessaire au maintien de la température, et s'écoule ensuite par la cheminée, après avoir reçu un certain accroissement de température. Dans le cas dont il s'agit, il y a trois colonnes d'air chaud qui produisent le mouvement : celle d'arrivée de l'air chaud ; celle de descente qui agit en sens contraire, et celle de la cheminée, dont l'effet s'ajoute à celui de la première ; la différence des charges correspondantes

à la première et à la seconde peut être très-grande quand la quantité de chaleur absorbée par les murailles, ou transmise régulièrement par les vitres et les murailles est considérable, que le chauffage n'a lieu que par l'air de ventilation et que la ventilation est faible; elle est, au contraire, assez petite quand le chauffage a lieu en grande partie par le rayonnement, et que la ventilation est très-considérable. Dans ce dernier cas, qui se rencontre assez fréquemment, on peut négliger la différence des effets des deux premières colonnes et la vitesse d'écoulement est donnée par la formule

$$v^2 = \frac{2ga}{1+R} \cdot \frac{H(15+x-\theta)(1+a\theta)}{[1+a(15+x)]^2}$$

en supposant que la température intérieure est égale à 15°, ce qui a lieu ordinairement, et en désignant par x l'accroissement de température que reçoit l'air en pénétrant dans la cheminée; les autres lettres représentent les mêmes quantités qu'au n° 2377. Il résulte de cette formule que pour la même consommation de combustible employée au chauffage du même volume d'air, la vitesse d'écoulement est plus grande que quand l'air pénètre dans la cheminée à la température extérieure, parce que l'air est déjà échauffé à 15°.

2404. Dans le cas dont il s'agit, la régularité de la ventilation s'obtiendrait en rendant $x - \theta$ constant, ce qu'on pourrait constater, comme dans le cas précédent, par une mesure directe de cette différence de température, ou par un manomètre qui indiquerait l'appel au bas de la cheminée. Mais, dans ce cas, la vitesse ne serait proportionnelle à la racine carrée de x que pendant l'absence de chauffage, quand on supposerait que $\theta = 15°$.

2405. On pourrait aussi brûler constamment en hiver la même quantité de combustible, et de même en été, mais dans chaque saison des quantités de combustible différentes. En supposant que la température de l'air appelé soit de 15°, et en prenant 6° pour la température moyenne de l'hiver, 16° pour la température moyenne de l'été, et en désignant par x et x' les accroissements de température que l'air devrait éprouver dans la cheminée pour produire le même appel, on aura évidemment

$$\frac{(15+x-6)(1+6a)}{[1+a(15+x)]^2} = \frac{(15+x'-16)(1+16a)}{[1+a(15+x')]^2}.$$

En supposant $x = 20°$, on trouverait $x' = 31°$ et les consommations de combustible devraient être dans le rapport de ces nombres

pendant le chauffage et dans le reste de l'année : il est important de remarquer qu'en supposant que les températures de l'hiver s'écartent de 6°, en plus ou en moins de la température moyenne, c'est-à-dire que les valeurs de θ soient de 12 ; 6, et 0, l'air appelé étant toujours à 15°, les vitesses d'écoulement sont proportionnelles aux nombres 0,89 ; 1 ; 1,09 et par conséquent, en consommant une quantité constante de combustible, les plus grandes variations de vitesse seraient à peu près d'un dixième de celle correspondante à la température moyenne.

2406. 2° *L'air extérieur étant introduit et chauffé à chaque étage et descendant au niveau du sol pour pénétrer dans la cheminée d'appel.* — Ce cas se rencontre dans les prisons cellulaires et dans les hôpitaux. D'après ce que nous avons dit ci-dessus et au n° 548, en supposant la température intérieure constante, et en négligeant l'effet résultant des mouvements de l'air chaud en sens contraire à chaque étage, on aura

$$v^2 = \frac{2ga(1+a\theta)}{(1+\mathrm{H})(1+15a)} \cdot \frac{\mathrm{H}(x+15-\theta)(1+15a) - \mathrm{H}'(15-\theta)[1+a(x+15)]}{[1+a(x+15)]^2}$$

H étant la hauteur de la cheminée d'appel, et H′ celle du canal de descente. On voit, d'après cette formule, que, quand la valeur de θ change, les deux termes du second facteur varient dans le même sens, et par conséquent que, si l'on brûlait une quantité constante de combustible dans le foyer, les variations de vitesses seraient plus petites que celles du premier terme seul, qui sont à peu près d'un dixième, comme nous venons de le voir. En prenant $\mathrm{H} = 30^m$; $\mathrm{H}' = 8^m$, pour des températures extérieures égales à 0°, 6°, 12°, les vitesses sont proportionnelles aux nombres 1, 07 ; 1 ; 0,92 ; ainsi, en brûlant une quantité de combustible constante dans le foyer, la ventilation ne varierait que de 14 à 18 centièmes en plus ou en moins de celle qui correspond à la température moyenne extérieure. L'uniformité de l'excès de température de l'air dans la cheminée sur l'air extérieur pourrait être constatée par un thermomètre différentiel (656), ou par un manomètre multiplicateur qui indiquerait la dépression au bas de la cheminée.

Pendant les mois de l'année où le chauffage est suspendu, le second terme de la formule disparaît, et on retombe dans le cas que nous avons examiné d'abord (2403).

2407. Quant au rapport de la valeur moyenne de x dans les deux parties de l'année, elle s'obtiendra par l'équation

$$\frac{H(x+15-6)(1+6a)}{[1+a(x+15)]^2} - \frac{H'(15-6)(1+6a)}{(1+15a)[1+a(x+15)]} = \frac{H(x'+15-16)(1+16a)}{[1+a(x'+15)]^2} - \frac{H'(15-16)(1+16a)}{(1+15a)(1+a(x'+15)}.$$

En prenant $x = 20, H = 30, H' = 8$, on a $x' = 28°\ 13$. A la prison Mazas, qui se trouve dans les conditions que nous avons supposées, il résulte des expériences de plusieurs années que, pour obtenir la même ventilation pendant les mois de chauffage et dans le reste de l'année, les consommations moyennes des combustibles sont 20 et 25 kilogrammes; et, comme l'accroissement de température en hiver est à peu près de 20°, on a $x' = 25°$; le calcul donne 28° 13, mais la différence des tirages pour ces deux excès de température est très-petite, car ces vitesses sont proportionnelles aux nombres 24 et 25. Il est important de remarquer que la valeur de H' est nulle pour le rez-de-chaussée; qu'elle est égale à la hauteur d'un étage pour le premier et de deux étages pour le second; mais il faut prendre la plus grande valeur de H', attendu que l'uniformité de la ventilation ne peut s'effectuer qu'en restreignant par des registres la ventilation des étages qui offrent le moins de résistance.

2408. 3° *L'air extérieur étant introduit et échauffé à chaque étage, et s'échappant par une cheminée placée dans les combles.* — C'est une disposition appliquée par M. Duvoir-Leblanc dans plusieurs hôpitaux. L'air froid arrivant de l'extérieur s'échauffe en passant dans des poêles à eau chaude, gagne la partie supérieure de la salle et redescend, au niveau du plancher, pour s'écouler par les orifices inférieurs des cheminées partielles, qui le conduisent à la cheminée des combles. Dans ce cas, comme dans le précédent, on peut négliger les charges qui correspondent aux deux premiers mouvements de l'air, et alors la vitesse d'écoulement résulte des effets produits dans les cheminées partielles des salles et dans la cheminée des combles; elle est alors représentée par la formule

$$v^2 = \frac{2ga(1+a\theta)}{(1+R)(1+15a)} \cdot \frac{H(x+15-\theta)(1+15a)+H'(15-\theta)[1+a(x+15)]}{[1+a(x'+15)]^2}$$

H étant la hauteur de la cheminée et H' celle de l'étage supérieur, car, ici comme dans le cas précédent, l'uniformité de ventilation exige que l'on règle avec des registres la ventilation sur celle de l'étage pour lequel la puissance de la cheminée est le plus faible. On voit, à l'inspection de la formule, que, quand θ varie, les deux termes de la valeur de v diminuent tous les deux, et comme ils s'ajoutent,

la variation est plus grande que celle du premier terme seul. En supposant $H = 8, H' = 3, x = 20$, pour des valeurs de θ égales à 0°, 6°, 12°, les valeurs de v sont proportionnelles aux nombres 1, 12; 1, et 0,86; elles sont, par conséquent, comprises entre 0,12 et 0,14 de la valeur moyenne. Si ces variations pouvaient être admises, la régularité de la ventilation s'obtiendrait comme dans le cas précédent.

Alors, pour produire le même effet, en hiver et en été, avec le même appareil, on devrait évidemment avoir

$$\frac{H(x+15-6)(1+6a)}{[1+a(x+15)]^2} + \frac{H'(15-6)(1+6a)}{(1+15a)[1+a(x+15)]} = \frac{H(x'+15-16)(1+16a)}{[1+a(x'+15)]^2} + \frac{H'(15-16)(1+16a)}{(1+15a)[1+a(x'+15)]}.$$

En supposant $H = 8^m$; $H' = 3^m$; $x = 20$ et $\theta = 6$, on trouve $x' = 35°16$. Ainsi, en été, la dépense moyenne de combustible serait égale à 35,16 : 20 = 1,75 de celle d'hiver.

2409. Dans cette disposition comme dans la précédente, on pourrait régler exactement la ventilation, par une consommation uniforme de combustible; il n'y aurait d'incertitude que celle résultant de la qualité du combustible et de la combustion plus ou moins complète; pour régler la ventilation d'une manière plus exacte encore, on placerait à côté du chauffeur un thermomètre différentiel (656), qui donnerait à chaque instant l'excès $t - \theta$ de la température intérieure sur celle de l'air, ou bien un manomètre à tube de verre incliné ou à flotteur.

2410. *Comparaison des deux derniers systèmes de ventilation sous le rapport de l'économie du combustible.* — En conservant pour H et H′ les valeurs que nous avons indiquées précédemment, en désignant par x et x' les accroissements de température dans les cheminées qui produiraient les mêmes effets, et en admettant que les résistances sont sensiblement les mêmes, on aura pour la ventilation moyenne de l'été, en prenant $\theta = 16$, et en supposant nulle l'action des cheminées partielles des salles dans lesquelles la température est sensiblement 16° aussi, on aura :

$$\frac{30^m(x+15-16)}{[1+a(15+x)]^2} = \frac{8(x'+15-16)}{[1+a(15+x')]^2}.$$

En supposant $x = 20$, on trouve $x' = 113°$. Il résulte de là que les dépenses de combustible nécessaires pour obtenir la même ventilation en été par deux cheminées, l'une de 30 mètres partant

du sol, et l'autre de 8 mètres partant des combles, sont dans le rapport des nombres 1 et 5,65.

2411. Pendant la saison du chauffage, pour obtenir la même ventilation au moyen des deux appareils, pour la température moyenne 6°, on aurait, en négligeant les dénominateurs qui ont réellement peu d'influence, quand les températures sont faibles,

$$30(x+15-6)-8(15-6)=8(x'+15-6)+3(15-6)\text{; d'où } x=\frac{30x-213}{8}.$$

En supposant $x = 20°$, on trouve $x' = 48$; ainsi, dans la saison du chauffage, la cheminée dans les combles consommerait à peu près deux fois et demie la quantité de chaleur qu'exigerait la cheminée partant du sol pour produire le même effet. Elle absorberait même beaucoup plus de chaleur, parce que l'air, en parcourant les canaux placés dans les combles, se refroidirait infailliblement, et toute la perte de chaleur devrait être restituée dans la cheminée d'appel.

2412. Dans tous les calculs que je viens de faire, j'ai négligé la perte de charge dans le mouvement d'ascension et de descente de l'air chaud dans la pièce ; mais, comme l'accroissement de ventilation qui en résulterait serait le même dans les deux systèmes, cette considération ne pourrait que diminuer l'avantage calculé de la ventilation par la cheminée, partant du sol, sans le détruire. Il est évident que, pour la ventilation d'été, quand on peut supposer la température intérieure égale à la température extérieure, les dépenses de combustible, pour obtenir la même ventilation, seront sensiblement en raison inverse des hauteurs ; ainsi, pour les hauteurs de cheminée que nous avons admises, elle serait près de quatre fois plus grande pour la cheminée des combles que pour la cheminée s'ouvrant à la surface du sol.

2413. J'ai supposé aussi que les résistances étaient les mêmes dans les deux systèmes ; et cependant, dans le premier, les circuits ont une plus grande étendue que dans le second ; mais cela ne modifie pas sensiblement les résultats obtenus.

2414. En outre, comme la cheminée des combles ne peut pas avoir un foyer latéral pour chauffer l'air, à cause des inconvénients et des dangers qu'il présenterait, et de la nécessité d'y maintenir un chauffeur en permanence, le chauffage doit toujours avoir lieu par des poêles à eau chaude ou à vapeur. Mais ce mode de chauffage exige des dépenses bien plus élevées de premier établissement, à cause de

la grande étendue des surfaces de chauffe de ces appareils réchauffeurs, et il occasionne une perte considérable de chaleur par la cheminée du foyer de chauffage, tandis qu'avec la cheminée partant du sol, le chauffage de l'air appelé peut avoir lieu directement par l'air brûlé, et toute la chaleur du foyer est utilisée.

2415. En résumé, il y a toujours une économie considérable dans la consommation de combustible pour la ventilation d'hiver, et surtout pour la ventilation d'été, et en même temps dans les frais d'installation des appareils, à faire descendre au niveau du sol les gaz qui ont servi à l'assainissement et à les faire sortir par une haute cheminée d'appel.

2416. On a proposé plusieurs fois un autre mode de ventilation qui, sous le rapport de la salubrité, présenterait beaucoup plus d'avantages que ceux dont nous venons de parler et qui, sous le rapport de la consommation du combustible, rentrerait à peu près dans le premier cas que nous avons considéré. Dans ce système, l'air extérieur, préalablement échauffé, entre par tous les points du sol, sort par le plafond, et ensuite descend extérieurement par un canal communiquant avec le bas de la cheminée d'appel. Par cette disposition, chacun ne respirerait que de l'air pur, et la dépense de combustible serait à peu près la même que dans le premier cas. Ce mode présente, pour les orifices d'entrée et de sortie et pour l'égale répartition de l'air, des difficultés d'installation telles qu'il est rarement possible de l'employer.

2417. Dans tous ces systèmes, la ventilation d'été peut être mesurée exactement par un manomètre communiquant avec un tube placé au bas de la cheminée et perpendiculairement à sa surface; quant à la ventilation d'hiver, ces mêmes appareils ne donnent une évaluation de la ventilation qu'avec une approximation qui dépend des dispositions du circuit parcouru par l'air; quand l'air descend pour gagner une haute cheminée d'appel, les variations sont en général assez petites pour être négligées, et l'uniformité de ventilation peut s'obtenir par une consommation constante de combustible ou par la permanence dans l'excès de la température de l'air sur la température extérieure; il n'en est point ainsi quand la cheminée part des combles, à cause de la petite hauteur de la cheminée; l'emploi des anémomètres permanents devient alors indispensable.

Remarque sur les calculs relatifs aux cheminées d'appel. — Dans tous les calculs qui précèdent, nous avons toujours pris les températures moyennes de l'hiver et de l'été, mais les variations considérables

qui se produisent dans la température, non-seulement d'une saison à l'autre, mais encore dans une même journée, sans rien changer aux résultats comparatifs que nous avons obtenus, pourront modifier notablement les résultats obtenus.

La ventilation par les cheminées d'appel fonctionne d'une manière à peu près régulière dans les grands appareils où la chaleur renfermée dans les parois de la cheminée compense les variations inévitables dans le chauffage ; mais, dans les applications restreintes, le tirage des cheminées est influencé par les rayons solaires, par l'état hygrométrique de l'air et par les vents qui agissent à la fois sur les orifices d'entrée et de sortie. Il suffit de voir ce qui se passe dans les cheminées d'appartement, même dans celles qui ont une assez grande hauteur, pour comprendre combien l'action des agents extérieurs peut être considérable.

Différents modes de chauffage des cheminées d'appel.

Indépendamment du chauffage direct de l'air appelé, que nous avons indiqué, il en est plusieurs autres que nous devons examiner.

2418. *Appel de l'air de ventilation par les cendriers des fourneaux de chauffage.* — Les cheminées des appareils de chauffage appellent ordinairement de 9 à 18 mètres cubes d'air par kilogramme de houille brûlée sur la grille (302 *bis*) ; cet air peut être pris dans les lieux qui doivent être ventilés, et par conséquent cet appel ne coûte absolument rien. Si l'on couvrait seulement en partie la grille de combustible, on pourrait appeler dans le foyer des volumes d'air variables dans des limites très-étendues ; mais alors la ventilation coûterait beaucoup plus que par une cheminée spéciale. En effet, supposons qu'on appelle dans le foyer 400 mètres cubes d'air par kilogramme de houille, c'est à peu près le tiers de ce qu'on appelle dans les cheminées d'aérage bien disposées ; le poids de cet air sera de $400.1,3 = 520^k$; une petite partie des 8000 unités de chaleur produites par la combustion pénétrera par rayonnement dans les surfaces du calorifère qui environnent le foyer, le reste se distribuera dans les 520 kilogrammes d'air ; si l'on négligeait la chaleur provenant de ce rayonnement, comme il faut $520 \,.\, 0,24 = 124,8$ calories pour échauffer la masse d'air de 1°, elle serait portée à $8000 : 124,8 = 64°\,10$; tandis que si la cheminée appelait seulement 18 mètres cubes d'air par kilogramme de houille, l'air brûlé sortirait du foyer à 1200°. Il résulte évidemment de là que le calorifère, qu'il soit à

vapeur, à eau chaude, à air chaud, produira d'autant moins d'effet que le volume d'air appelé sera plus considérable. Il est évident que, si le calorifere était à air chaud ou à vapeur, et si, dans une première période du chauffage, la température de l'eau avait été portée au delà de 100°, l'air d'appel dans une seconde période en abaisserait la température ; ainsi, ce mode de ventilation a pour effet de diminuer la quantité de chaleur qui passe à travers le calorifère, dans certaines circonstances de la supprimer et même d'échauffer l'air aux dépens de la chaleur qui aurait été accumulée, et en outre d'élever inutilement la température de l'air dans la cheminée d'appel au-dessus de la limite nécessaire.

2419. Un fait constaté dans les grands appareils de ventilation, c'est qu'il suffit de donner à l'air appelé un accroissement de température d'environ 20°. Ce serait donc cette température que devraient avoir les surfaces du calorifère, si l'air appelé ne devait pas absorber plus de chaleur que dans une cheminée spéciale ; mais alors le calorifère ne produirait évidemment point d'effet.

2420. En outre, par ce système de ventilation, le chauffage et la ventilation étant produits par le même foyer, on ne peut régler ni l'un ni l'autre, parce que chacun exige des quantités de chaleur qui varient suivant des lois différentes. En un mot, avec ce mode de ventilation, on ne sait jamais ce qu'on fait, ni pour le chauffage ni pour la ventilation.

2421. Au reste, il y a un principe évident par lui-même et dont il ne faut se départir que quand il y a nécessité absolue, c'est de ne jamais faire dépendre la ventilation du hauffage, parce que la ventilation doit être constante, et que le chauffage, dépendant de la température extérieure, doit pouvoir varier dans des limites très-étendues.

2422. L'appel par un foyer de chauffage ne pourrait être avantageux qu'autant qu'il ne dépasserait pas 18 à 20 mètres cubes par kilogramme de houille ; mais cette ventilation est, en général, très-petite relativement à celle qui doit être produite, et il n'en résulte qu'une économie insignifiante, car, dans les cheminées spéciales, rarement l'air est échauffé de plus de 20°, et la chaleur employée pour échauffer 20 mètres cubes d'air est égale à $1,3 . 20 . 20 . 0,24 = 124,8$ unités de chaleur, qui sont les $1248 : 8000 = 0,016$ de la quantité totale de chaleur produite par le combustible ; une pareille économie est illusoire, car les effets produits par le même poids du même combustible, brûlé sur la même grille, dans les mêmes circonstances

apparentes, varient dans des limites beaucoup plus étendues, suivant l'habileté du chauffeur. J'ajouterai enfin que l'air appelé dans le foyer du calorifère aurait à vaincre les résistances du canal de circulation et de l'appareil de chauffage, ce qui exigerait un accroissement de tirage dans la cheminée.

2423. *Cheminées d'appel dans lesquelles l'air appelé ne doit pas alimenter la combustion.* — Ordinairement il n'y a pas d'inconvénient à mêler l'air brûlé sortant du foyer avec l'air appelé; mais, quand ce dernier renferme des mélanges explosifs, ou quand il serait dangereux que, par l'action des vents, de l'air chargé de fumée rentrât dans les pièces ventilées, il faut chauffer indirectement l'air d'appel.

2424. Une disposition consiste à employer un foyer latéral, et à faire écouler l'air brûlé par un tuyau placé au centre de la cheminée d'appel et dépassant le sommet; le tuyau et la cheminée doivent être surmontés d'un chapeau disposé pour s'opposer autant que possible à l'influence des vents qui tendent à faire revenir l'air brûlé dans la pièce. Il est plus simple et presque toujours suffisant d'élever le tuyau à fumée seulement à quelques mètres de hauteur, et de faire déboucher l'air brûlé dans la cheminée d'aérage. La partie inférieure du tuyau à fumée peut rougir sans inconvénient, car les mélanges explosifs qui se rencontrent dans les gaz qui doivent être expulsés ne s'enflamment qu'au rouge-blanc. Pour augmenter la surface de chauffe, le tuyau pourrait s'élever en serpentant dans la cheminée; mais dans ce cas il ne faudrait pas oublier de prendre les précautions nécessaires pour le nettoyage intérieur. Une autre disposition consiste à faire passer l'air appelé dans un tuyau métallique, placé dans une cheminée en briques, par laquelle s'écoule l'air brûlé du foyer.

2425. Les dispositions à tuyau intérieur jusqu'au sommet de la cheminée sont peu avantageuses sous le rapport de l'économie du combustible, parce que l'air appelé ne s'échauffe que progressivement, et que la température moyenne de l'air dans la cheminée doit être, pour produire le même effet, beaucoup plus élevée que si l'air était échauffé à son entrée; si l'air s'échauffe progressivement de t°, en s'élevant jusqu'au sommet, la température moyenne de l'air, celle qui produit l'appel, est égale à $t : 2$; tandis qu'elle serait égale à t°, si l'air avait cette température au bas de la cheminée. Il est donc plus avantageux de chauffer l'air appelé, en totalité ou en partie, au moyen d'un calorifère.

2426. La figure 614 représente un appareil construit il y a longtemps par M. Cockerill, pour chauffer l'air d'une cheminée d'appel : l'appareil, placé à côté de la cheminée, consiste en un gros tuyau de tôle disposé au-dessus du foyer et logé dans une enveloppe en maçonnerie qui communique par le haut et par le bas avec la cheminée d'appel. Il ne doit produire que très-peu d'effet utile, à cause de la mauvaise disposition de la surface de chauffe.

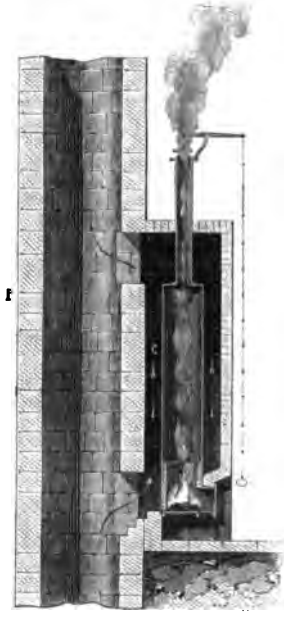


Fig. 614.

2427. Une meilleure disposition, sous le rapport de l'efficacité des surfaces de chauffe et de la facilité du nettoyage, consiste à faire circuler l'air brûlé dans des tuyaux horizontaux. L'appareil peut être disposé comme l'indique la figure 615 ; il se compose de deux calorifères à tubes horizontaux ; un registre tournant oblige l'air d'appel à circuler autour des tubes ; l'air brûlé parcourt successivement les différentes rangées horizontales, de haut en bas, avant de se rendre dans la cheminée d'écoulement de l'air brûlé, laquelle est placée dans la cheminée d'appel.

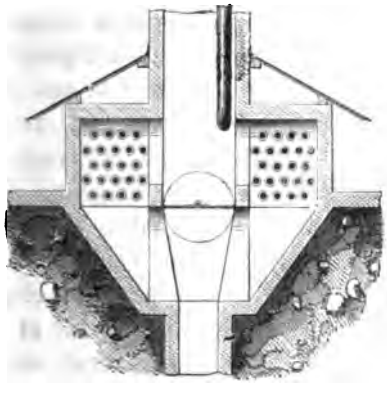


Fig. 615.

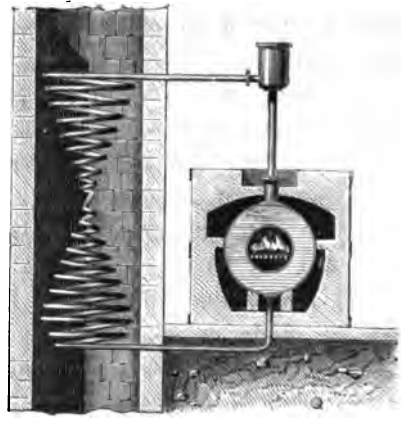


Fig. 616.

2428. Il peut convenir dans quelques cas exceptionnels de chauffer

l'air dans la cheminée d'appel au moyen d'un calorifère à eau chaude ou à vapeur, comme l'indique la figure 616.

2429. Il semble, au premier abord, qu'il y aurait toujours de l'avantage, sous le rapport de la régularité de la ventilation, même quand l'air appelé pourrait sans inconvénient passer à travers le foyer, à chauffer cet air par un calorifère à eau chaude avant son entrée dans la cheminée : les petites variations d'intensité du foyer seraient atténuées par la masse d'eau en circulation ; mais, comme le démontrent très-bien les expériences faites dans les prisons cellulaires de Mazas et de Provins que nous rapporterons plus loin, la chaleur renfermée dans la cheminée produit cet effet. Cette disposition n'aurait alors que des inconvénients ; la dépense de combustible et les frais de premier établissement seraient beaucoup plus considérables.

2430. Il se présente cependant des circonstances dans lesquelles il devient nécessaire de l'employer ; c'est quand les cheminées d'appel sont éloignées des foyers, quand elles partent, par exemple, des combles des édifices, et qu'il y a de sérieux inconvénients à y établir des foyers par la difficulté de les surveiller, ou par la crainte d'un incendie. Mais ce sont des dispositions qu'il faut éviter, parce que les cheminées, n'ayant que peu d'élévation, n'ont qu'un faible tirage. C'est, du reste, un point sur lequel je reviendrai encore en parlant du chauffage et de la ventilation des édifices publics.

2431. Dans quelques appareils, on a chauffé l'air de ventilation par un tuyau à circulation d'eau chaude, d'une grande longueur, placé dans la cheminée d'appel. C'est la disposition la plus vicieuse qu'on puisse employer, car une grande partie de la chaleur dépensée est sans influence sur le tirage. De même que dans le cas du n° 2425, l'air qui s'élève dans la cheminée en contact avec le tuyau d'eau chaude, s'échauffe progressivement ; et, comme le tirage d'une cheminée résulte de la température moyenne de l'air qui s'y trouve, et que la consommation de chaleur dépend de la température de l'air à la sortie, il s'ensuit évidemment que ce mode de chauffage occasionne une grande perte de chaleur. Si, par exemple, l'air entrait dans la cheminée à 15° et y était échauffé successivement jusqu'à 35°, le tirage serait sensiblement le même que si l'air était de bas en haut à 20°, et l'on aurait dépensé la chaleur nécessaire pour l'échauffer à 35°. Cette disposition ne saurait être justifiée que par l'impossibilité de placer

un foyer au bas de la cheminée, ou d'échauffer l'air avant son entrée dans la cheminée.

2432. Dans toutes les cheminées d'appel, chauffées par l'air brûlé, que l'air appelé soit ou non employé à la combustion, comme la vitesse d'écoulement de l'air est très-petite, le tirage peut être influencé par les vents, et il est par conséquent nécessaire, comme nous l'avons déjà dit plusieurs fois, de garnir le sommet des cheminées d'un appareil destiné à soustraire le tirage à leur action, ou mieux d'un des appareils décrits dans dans le premier volume, qui les font concourir à l'accroissement du tirage. Je rappellerai cependant que la composante verticale de haut en bas de la vitesse du vent ne diminue pas d'autant la vitesse d'écoulement, et que cette dernière vitesse ne deviendrait nulle qu'autant que cette composante serait égale à la vitesse due à la charge qui est toujours beaucoup plus grande que la vitesse réelle (630).

Ventilation mécanique.

2433. Dans le quatrième livre de cet ouvrage, nous avons passé en revue les différents appareils qu'on peut employer pour produire une ventilation mécanique ; nous nous bornerons ici à examiner les phénomènes généraux qui se produisent, et nous nous occuperons d'abord de la comparaison de la dépense relative à la ventilation par une cheminée d'appel, et par une action mécanique.

2434. Nous avons trouvé (664) que le rapport R, entre le travail produit par la même quantité de chaleur employée mécaniquement, et dans une cheminée, en supposant qu'un cheval-vapeur exigeai par heure 4 kilogrammes de houille, était donné par la formule

$$R = \frac{2,12}{Ha}$$

lorsqu'on considère le travail produit dans la cheminée par l'entraînement de l'air chaud ; mais si on considérait le travail nécessaire pour produire la vitesse de l'air froid, seule chose qui importe au point de vue de la ventilation, le rapport deviendrait :

$$R = \frac{2,12(1 + at)^2}{Ha}$$

t, représentant l'excès de température de l'air dans la cheminée sur la température extérieure, a le nombre 0,00365, et H la hauteur de la cheminée. Si on calcule la valeur de R, en supposant t égal suc-

cessivement à 10°, 20°, 30°, 40°, 50°, 100°, 200°, 300°, 400°, et pour des hauteurs de cheminée égales à 5^m, 10^m, 15^m, 20^m, 25^m, 30^m, on trouve les résultats suivants :

t =	10°	20°	30°	40°	50°	100°	200°	300°	400°
H = 5^m	124	133	143	152	162	215	346	510	703
= 10^m	62	66	71	76	81	107	173	255	351
= 15^m	41	44	48	50	54	72	115	170	234
= 20^m	31	33	36	38	40	54	86	127	176
= 25^m	25	26	28	30	32	43	69	102	140
= 30^m	21	22	24	25	27	36	58	85	117

2435. On voit, d'après ces nombres, que la valeur de R augmente très-rapidement, à mesure que t augmente, et que H diminue, comme il était d'ailleurs facile de le prévoir à l'inspection de la formule. La valeur de R serait double, si l'on employait une machine ne consommant que 2 klogrammes de houille par cheval et par heure. Mais pour toute espèce de machine, il y aurait une certaine perte de travail dans la transmission du mouvement et dans la machine elle-même. L'effet utile peut varier de 0,20 à 0,80 suivant le genre de machine employé.

2436. J'ajouterai que, dans un grand nombre de cas, on a l'emploi utile de la vapeur détendue ; en se servant alors d'une machine à haute pression, à détente, sans condensation, le travail de la machine ne coûte sensiblement rien. Ainsi, en prenant 4 atmosphères pour la pression de la vapeur sur le piston et 1^{at} 1/2 pour la pression à la sortie de la machine, on trouve, par la formule de M. Regnault, que la perte de chaleur éprouvée par la vapeur est de 11 calories, c'est-à-dire 1 3/4 p. 100 de la quantité de chaleur contenue dans la vapeur à 4 atmosphères.

2437. La ventilation mécanique présente donc un avantage immense, sous le rapport économique, sur la ventilation par une cheminée d'appel ; mais cette considération n'est pas la seule qu'il faut faire intervenir dans le choix du mode de ventilation. C'est par l'examen, dans chaque cas particulier, des avantages et des inconvénients résultant de l'emploi de ces deux systèmes que l'on doit se décider, et il est impossible de dire d'une manière absolue que tel système est toujours préférable, dans toutes les circonstances que l'on rencontre dans les applications.

La ventilation mécanique ne peut être employée que quand il s'agit d'une puissante ventilation exigeant un travail assez considérable. Elle a l'avantage, en général, de consommer beaucoup moins

de combustible qu'une cheminée qui produirait le même effet, et même, comme nous venons de le voir, n'exige presque aucune dépense, quand on a l'emploi utile de la chaleur de la vapeur détendue; en outre, ce système permet de la régler d'une manière facile et certaine, de la mesurer à chaque instant, et de la faire varier dans des limites très-étendues. Au premier aspect il semble que la ventilation mécanique doive coûter beaucoup plus cher d'installation que celle par cheminée d'appel; mais dans les cas nombreux où l'on se trouve avoir déjà un moteur, elle revient à meilleur marché à cause de la diminution de section des couduits, et en général pour les ventilations des grands établissements elle ne doit pas coûter davantage.

2438. La ventilation par une cheminée d'appel peut être employée pour les grandes comme pour les petites ventilations. Les frais d'installation sont à peu près les mêmes que pour le système mécanique; mais la ventilation coûte presque toujours plus cher, surtout en été, quand l'air n'a pas été chauffé. On ne peut la faire varier que dans des limites assez restreintes, et avec un accroissement considérable dans la consommation du combustible. Enfin, dans certaines circonstances, ce mode présente de grandes difficultés par la nécessité où il met de réunir l'air de ventilation de différentes pièces, pour le diriger vers la cheminée d'appel. Il y a des cas cependant où l'air que l'on doit évacuer est porté à une température suffisante pour qu'il puisse produire l'appel sans suréchauffement; dans ce cas l'appel pourra être employé préférablement aux moyens mécaniques.

2439. Quand on considère le peu de travail qu'exigent des ventilations même d'une certaine importance, quand les vitesses sont très-petites, on est conduit à un mode particulier de ventilation mécanique, qui serait d'une application facile, mais peu sûre, à cause de l'attention et de la surveillance qu'il exige. Ce mode consiste à employer le travail d'un homme, pendant un certain temps, à élever un poids à une certaine hauteur, d'où on le laisserait ensuite tomber lentement à l'aide d'un mécanisme semblable à celui des tournebroches. Dans sa chute, il reproduirait en partie le travail dépensé. On trouve dans l'ouvrage de M. Morin sur la ventilation les données d'une expérience relative à un de ces appareils. Le contre-poids pesait 267 kilogrammes et descendait de $2^m,08$ en 6 heures 39′; le volume d'air expulsé était de 33 mètres cubes à l'heure avec une vitesse de $0^m,808$. Cet appareil servait à la ventilation d'une fosse d'aisances.

2440. *Ventilation par injection d'air comprimé.* — Les différents appareils ventilateurs que nous avons décrits envoient directement

l'air dans les lieux à ventiler. M. Piarron de Mondésir a proposé l'emploi d'un jet d'air comprimé dans le conduit d'arrivée de l'air de ventilation de façon à déterminer le mouvement de ce dernier par entraînement; ce système, déjà proposé en 1801 par Boswel, a été appliqué dans différents cas par M. Piarron de Mondésir (*Bulletin de la Société des ingénieurs civils*, 1867).

Si l'on représente par :

m la masse d'air comprimé qui sort de l'ajutage,
V sa vitesse,
M la masse d'air en mouvement dans le tuyau de ventilation,
U sa vitesse,

l'équation des quantités de mouvement donne :

$$mV = MU.$$

D'expériences faites par M. Tresca, il résulte que l'on a en moyenne :

$$mV = 0{,}889MU$$

pour des pressions motrices comprises entre 7 et 68 millimètres d'eau.

e rapport de la force vive de l'air moteur à celle de l'air de ventilation sera

$$\frac{mV}{MU^2} = \frac{V}{U}.$$

Il résulte de là que ce rapport $\frac{V}{U}$ sera d'autant plus grand et que par suite l'utilisation sera d'autant plus faible que V sera plus grand par rapport à U et que l'utilisation sera le plus grande possible quand V sera égal à U; ce résultat montre l'infériorité de ce système par rapport à l'emploi d'un ventilateur pour chasser l'air directement dans le tuyau de ventilation, puisque ce dernier cas est précisément celui de l'égalité des deux vitesses.

Dans les expériences les plus favorables faites au Conservatoire (Morin, *Manuel de chauffage et de ventilation*) le rendement a été de $\frac{1}{115}$, tandis qu'un ventilateur eût facilement fourni un rendement de 0,20.

Il faut donc conclure de là que la ventilation par un jet d'air comprimé ne devra être employée que dans les cas spéciaux où l'emploi d'un autre mode de ventilation serait impossible ou difficile.

Remarques sur les mouvements de l'air dans les lieux ventilés.

2441. Pour qu'un lieu quelconque soit assaini par la ventilation, il

ne suffit pas qu'un certain volume d'air y entre et en sorte dans un temps donné ; car des courants d'air qui traverseraient une pièce en suivant le plancher ou le plafond, sur une petite hauteur, seraient évidemment sans utilité. A la vérité, il pourrait se produire de doubles courants de haut en bas, ou de bas en haut, plus ou moins rapprochés, résultant de l'excès de température de l'air expiré sur l'air environnant ; mais ils concourraient peu à l'assainissement. On ne doit réellement considérer comme efficaces que les courants d'air qui passent à travers la partie de la pièce occupée, et surtout ceux qui sont dirigés verticalement.

2442. Le meilleur mode de ventilation consisterait à introduire l'air par un très-grand nombre de points de la surface du sol, et à le faire sortir par des orifices percés dans le plafond ; la ventilation se produirait ainsi uniformément de bas en haut ; cette disposition serait avantageuse, en ce que la respiration serait toujours alimentée par de l'air pur ; mais elle ne peut être employée que dans des circonstances particulières, par exemple dans les grands amphithéâtres, parce que les orifices d'accès peuvent être percés dans les contremarches, ou derrière les bancs. Ordinairement l'air chaud arrive dans la pièce par un petit nombre d'orifices percés dans le plancher, ou par les cylindres intérieurs des poêles ; alors les veines d'air se dirigent vers le plafond, par suite de la vitesse résultant de l'appel, et de l'excès de leur température sur celle de l'air environnant ; l'air descend ensuite par couches sensiblement isothermes jusqu'aux orifices d'écoulement qui se trouvent au niveau du sol. Pendant l'été, la température de l'air intérieur est ordinairement plus élevée que la température extérieure ; alors les veines d'air froid qui pénètrent dans la pièce tendent d'un côté à s'élever verticalement, en vertu de leur vitesse acquise, et de l'autre à tomber, en vertu de l'excès de la température intérieure sur la température extérieure ; par conséquent l'air d'appel pourrait ne s'élever qu'à une hauteur insuffisante pour renouveler l'air dans la partie de la pièce habitée. Pour éviter cet inconvénient, il faudait diriger horizontalement les veines d'air froid ; l'air tomberait alors sur le sol ; et si les orifices de sortie se trouvaient à la hauteur du plafond, la pièce serait traversée de bas en haut par l'air de ventilation ; dans ce dernier cas, la ventilation serait beaucoup plus efficace pour la salubrité que pendant le chauffage, parce que l'air vicié par la respiration serait immédiatement entraîné par le courant. Dans le cas où les veines resteraient verticales et dirigées de bas en haut, il faudrait toujours établir des orifices

de sortie à la partie supérieure et à la partie inférieure ; ceux du bas resteraient constamment ouverts pendant la saison de chauffage, ceux d'en haut étant fermés ; et, pendant l'été, on reconnaîtrait facilement, par expérience, quand il conviendrait de changer la position des orifices de sortie ; et, pour cela, l'effet produit sur nos organes serait une indication bien plus certaine que les expériences chimiques les plus délicates. Mais il vaudrait mieux disposer les orifices d'accès de l'air dans les pièces, de manière que les veines puissent à volonté être rendues verticales ou horizontales.

2443. La ventilation d'une pièce peut avoir lieu de deux manières différentes : par une diminution ou par une augmentation de la pression intérieure ; les cheminées d'appel produisent toujours le premier effet ; les machines peuvent produire l'un ou l'autre. Lorsqu'il y a diminution de pression, il y a toujours un volume plus ou moins considérable d'air extérieur qui pénètre dans les pièces par les fissures des portes et des fenêtres, en formant des veines qui s'étendent à des distances plus ou moins considérables ; et quand les pièces sont nombreuses, comme il faut établir des tuyaux de communication de chacune avec la cheminée d'appel, cette condition complique beaucoup la disposition des appareils. Quand la ventilation est produite par un excès de pression, il n'y a point de veines par les orifices des portes et des fenêtres, les orifices d'entrée de l'air peuvent être disséminés ou disposés de manière à n'avoir aucun inconvénient, et la sortie de l'air par des orifices convenablement placés ne peut point produire de courants nuisibles, parce que les veines ne se manifestent qu'à l'extérieur. Indépendamment des effets dont je viens de parler, il y a dans ces deux modes de ventilation une différence que certaines personnes ont considérée comme pouvant exercer une certaine influence sur la santé, je veux parler de la diminution de pression qui existe dans le premier cas, et de l'accroissement de pression qui a lieu dans le second ; mais comme ces variations sont toujours très-petites, qu'elles dépassent rarement quelques millimètres d'eau, qu'elles sont par conséquent bien inférieures aux variations ordinaires du baromètre, il est bien difficile d'admettre qu'elles puissent avoir une influence quelconque. Dans tous les cas, une condition importante à remplir consiste dans l'uniformité de la ventilation dans toutes les parties occupées des pièces ventilées.

Observations générales sur les différents modes de chauffage.

2444. Pour maintenir une pièce à une température constante, il

faut évidemment y introduire, dans un certain temps, une quantité de chaleur égale à celle qui passe dans le même temps à travers les vitres et les murailles ; car, en mettant à part la ventilation, il n'y a pas d'autre perte de chaleur. Ainsi, la quantité de chaleur à fournir ne dépend que des surfaces, et le volume de la pièce n'y entre que d'une manière indirecte. Cependant, la plupart des constructeurs d'appareils de chauffage, pour faire apprécier la puissance de leurs appareils, désignent les capacités des pièces qu'ils peuvent chauffer. C'est une erreur qu'on a de la peine à concevoir ; car il est évident que des pièces de même capacité, formées par des murs de nature et d'épaisseurs différentes, n'ayant pas des surfaces vitrées égales, exigent des quantités de chaleur très-différentes pour être maintenues à une température constante, celle de l'air extérieur étant la même.

2445. Si les murailles se mettaient instantanément au régime qui convient à la température extérieure, la quantité de chaleur à fournir varierait à chaque instant ; mais, comme elles renferment beaucoup de chaleur, quand elles ont été échauffées, la quantité de chaleur fournie et la température extérieure peuvent varier dans des limites assez étendues et pendant un temps assez long, suivant la nature et l'épaisseur des murailles, sans que la température intérieure éprouve des variations sensibles. Ainsi, pourvu que les appareils qui transmettent la chaleur aient une étendue suffisante, le foyer pourra toujours être dirigé de manière à produire une température sensiblement constante.

2446. La chaleur nécessaire au maintien du régime peut être produite par le rayonnement, ou par l'air chaud, ou par ces deux modes réunis. Dans nos foyers domestiques, elle provient du rayonnement. Elle résulte principalement du contact de l'air, quand les surfaces chauffées, ou directement, ou par l'eau chaude, ou par la vapeur, sont formées d'un métal poli, et qu'elles sont placées dans l'intérieur des pièces. Cette chaleur ne provient que de l'air chaud, quand les surfaces de chauffe sont entièrement en dehors des pièces. Enfin, elle résulte à peu près également du rayonnement et du contact de l'air, lorsque les surfaces de chauffe, placées dans l'intérieur des pièces, sont formées de fonte ou de tôle non polie.

2447. La chaleur rayonnante, jouissant de la propriété de traverser l'air sans éprouver des pertes sensibles, si une pièce était uniquement chauffée par rayonnement, les rayons iraient se perdre presque totalement contre les vitres et contre les murailles ; la cha-

leur reçue par les murailles échaufferait l'air, il s'établirait des courants ascendants contre leurs surfaces et des courants opposés dans l'intérieur. Par ce mode de chauffage, qui est celui de nos habitations particulières, l'air n'atteint jamais une température élevée, d'autant plus qu'il se produit toujours une grande ventilation, et rarement avec de l'air préalablement chauffé par une partie de la chaleur de la fumée du foyer.

2448. Lorsqu'une pièce est chauffée par un courant d'air chaud, cet air gagne la partie supérieure en se refroidissant rapidement ; il s'établit le long des murailles des courants descendants, qui les échauffent et conservent leur régime ; et l'air intérieur peut être maintenu à une température constante.

D'après ce que je viens de dire, il est possible de se rendre compte de ce qui arriverait, si le chauffage avait lieu à la fois par le rayonnement et par le contact de l'air.

2449. Dans ce qui précède, j'ai supposé que la température de la pièce devait être maintenue constamment à un certain degré. Je ne connais que les hôpitaux dans lesquels il soit nécessaire d'avoir jour et nuit la même température dans les salles. Cette permanence peut être obtenue par une combustion continue dans les foyers, ou, malgré une interruption de chauffage de nuit, par des réservoirs d'eau chaude qui se refroidissent lentement ou bien encore par l'emploi de calorifères céramiques. Mais, à moins que les murailles n'aient qu'une bien faible épaisseur, la chaleur qu'elles renferment est presque toujours suffisante pour maintenir la température, pendant la nuit, sans diminution notable.

2450. En général, quand les bâtiments ont des murailles d'une suffisante épaisseur, les chauffages de nuit sont inutiles, et on peut presque toujours, le matin, par un chauffage actif et dans un petit nombre d'heures, réparer en grande partie la perte du régime qui a eu lieu pendant la nuit.

2451. Quand les murailles n'ont qu'une faible épaisseur, comme dans certaines usines, elles se refroidissent beaucoup pendant la nuit ; mais on parvient encore facilement à les échauffer, en commençant le chauffage un certain nombre d'heures avant l'arrivée des ouvriers : nombre variable avec la température extérieure.

2452. Lorsque les édifices ont d'épaisses murailles, et que les pièces ne sont employées que certains jours, à certaines heures, ce serait une grande dépense que d'y maintenir un régime constant dans la température des murailles, ou du moins de le rétablir com-

plétement quand les pièces doivent être utilisées. Il faut alors, pendant quelques heures d'un chauffage très-vif, échauffer partiellement les murailles, et compenser leur faible température par un plus grand échauffement de l'air pendant l'occupation des pièces.

2453. Dans tous les cas, excepté dans les foyers domestiques, la chaleur développée par le foyer est employée à chauffer des surfaces qui transmettent ensuite la chaleur ; ces surfaces peuvent être chauffées directement, ou par l'intermédiaire de la vapeur ou de l'eau chaude. De là une grande diversité dans la nature et les dispositions des appareils. Chaque mode de chauffage a des avantages et des inconvénients ; en outre, dans chaque édifice à chauffer, il y a des circonstances particulières et des conditions à remplir souvent fort différentes. Ainsi, il n'existe aucun mode de chauffage qui, dans tous les cas possibles, soit toujours supérieur à tous les autres.

2454. Je me bornerai ici à examiner les avantages et les inconvénients des principaux modes de chauffage employés dans les établissements publics. Ces modes peuvent se réduire à cinq.

Le premier, le plus ancien, consiste en cheminées ordinaires et poêles, ayant chacun un foyer spécial.

Le second consiste dans des calorifères placés en dehors des pièces à chauffer, et qui y versent de l'air chaud.

Le troisième consiste dans des appareils à vapeur, placés dans les pièces à chauffer.

Le quatrième, dans des poêles à eau chaude chauffés par une chaudière placée dans la cave.

Enfin, le cinquième consiste dans des poêles à eau chaude, formant des circuits partiels dont les réservoirs sont chauffés par la vapeur.

2455. Le premier mode de chauffage, celui où chaque pièce est chauffée par un appareil spécial, a le grand inconvénient d'exiger trop de soins, trop de surveillance et trop de dépense de combustible, par les excès de température qu'on y produit souvent. Ce mode de chauffage tend à être maintenant abandonné dans les grands établissements où l'on préfère installer un système général de chauffage qui offre bien plus d'économie et de régularité dans les effets produits.

2456. Le second mode, qui consiste dans le chauffage des pièces au moyen de l'air échauffé en dehors par des calorifères, ne peut être employé qu'autant que l'air chaud n'a pas un long trajet à par-

courir, à cause du refroidissement qu'il éprouve dans les tuyaux par suite de sa faible capacité calorifique. Ce mode de chauffage ne saurait être appliqué avec avantage que dans le cas de pièces assez rapprochées, l'air chaud circulant dans l'épaisseur des murs intérieurs. Dans ce cas, les calorifères les plus simples et les plus économiques sont ceux dans lesquels la chaleur passe directement de l'air brûlé à l'air froid, à travers des surfaces métalliques ou céramiques. Les calorifères à vapeur ou à eau chaude ont l'avantage de limiter la température de l'air chaud, et ces derniers de prolonger le chauffage même après l'extinction du foyer ; mais les calorifères à foyer direct peuvent être disposés de manière à éviter le suréchauffement de l'air ; et, en employant des foyers à alimentation continue, ces appareils peuvent marcher seuls, sans exiger trop de surveillance.

2457. Dans ce système, la ventilation s'effectue en même temps que le chauffage ; car il faut évidemment que l'air de la pièce sorte d'une manière quelconque pour faire place à l'air chaud venant du calorifère. Mais la ventilation par le seul effet de l'appareil de chauffage est très-irrégulière. Pour qu'elle soit constante, il faut un système régulier d'appel, ou une injection régulière d'air. Il est bon aussi de remarquer que, si la ventilation était très-faible, l'air chaud devrait arriver à une température très-élevée, ce qui présenterait de graves inconvénients.

2458. Le troisième mode de chauffage, celui qui a lieu par des calorifères à vapeur, exige une surveillance et des soins spéciaux tant pour la conduite du feu que pour le règlement des robinets. Il est surtout très-avantageux quand les foyers ne peuvent être placés qu'à une grande distance des pièces à chauffer, à cause du petit diamètre qu'on peut donner aux tuyaux de conduite de vapeur, et par suite de la faible condensation que la vapeur peut y éprouver, si les tuyaux sont convenablement enveloppés de matières conduisant mal la chaleur ; on peut ainsi n'avoir qu'un seul foyer, même pour les plus vastes établissements. Le chauffage à vapeur est aussi très-utile pour le chauffage des pièces dont les murailles n'ont qu'une faible épaisseur, et les vitres une grande surface, parce qu'il permet d'y maintenir très-facilement une température constante, malgré les grandes variations que peut éprouver la température extérieure, permanence de température qu'on n'obtiendrait pas par les autres systèmes.

2459. Le quatrième mode de chauffage est celui qui a lieu par la

circulation de l'eau chaude dans des poêles en fonte ou en tôle. Ces appareils, ainsi que je l'ai déjà dit (2000), se composent ordinairement d'une chaudière en tôle placée dans une cave, surmontée d'un tuyau qui s'élève dans les combles, où il se termine par un vase d'expansion ouvert ou fermé ; du fond du vase d'expansion partent des tubes qui amènent l'eau successivement dans un certain nombre de poêles d'un même étage, et retournent à la partie inférieure de la chaudière.

2460. On a modifié cette disposition, de manière à faire disparaître plusieurs inconvénients de la précédente. La chaudière est toujours placée dans une cave ; mais le tuyau qui la surmonte et qui s'élève dans les combles, au bas du vase d'expansion, ne fait pas partie du circuit parcouru par l'eau chaude. Du sommet de la chaudière part un tuyau horizontal, qui se prolonge dans toute la longueur du bâtiment ; ce tuyau est porté sur rouleau de manière qu'il puisse obéir aux effets provenant des variations de température. Sur ce tuyau sont fixés des tuyaux verticaux d'un plus petit diamètre, qui s'élèvent aux différents étages, où ils alimentent un ou plusieurs poêles, et les tuyaux de retour sont logés à côté des tuyaux d'ascension, dans des caniveaux verticaux pratiqués dans des murs de refend, où ils peuvent facilement être visités. Je reviendrai plus loin sur cette disposition.

Les appareils de chauffage à l'eau chaude, tout aussi et peut-être plus compliqués que ceux à vapeur, ont l'avantage de ne pas exiger des soins aussi continus. Des variations, même assez grandes, dans l'activité du foyer, n'ont presque point d'influence sur la température moyenne de l'eau chaude, à cause de son grand volume, et, par cette circonstance, le chauffage peut se continuer pendant la nuit, malgré l'extinction totale du foyer, avec un faible refroidissement. Ces appareils sont d'un prix élevé. Les pressions exercées par l'eau, surtout dans les parties inférieures, même quand le vase d'expansion est ouvert, sont très-considérables, car elles correspondent à une atmosphère pour chaque $10^m,33$ de hauteur, et ces pressions sont beaucoup augmentées quand le vase d'expansion est fermé; elles risquent d'occasionner des fuites d'eau très-chaude de nature à produire de graves accidents. Comme nous venons de le dire, par suite de la grande masse d'eau chaude en circulation, la température de l'eau ne peut éprouver que des variations très-lentes, même pour des variations très-grandes dans l'activité du foyer; or, si les murailles n'avaient qu'une faible épaisseur, et si les surfaces des vitres avaient

une grande étendue, un accroissement ou une diminution rapide dans la température extérieure exigerait nécessairement, pour que la température intérieure ne changeât pas, une diminution ou un accroissement dans la température moyenne de l'eau chaude en circulation, changement qui ne peut être produit que dans un temps assez long, pendant lequel la température intérieure serait trop basse ou trop élevée.

2461. L'inconvénient que je viens de signaler s'affaiblit à mesure que les murailles ont une plus grande épaisseur, et les vitres une plus petite surface, parce qu'alors les murailles absorbent ou émettent de la chaleur, de manière à affaiblir les variations de température intérieure qui résulteraient de celles de l'air extérieur et de la permanence de la température de l'eau chaude. Mais comme l'absorption ou l'émission de chaleur par les murailles n'a pas lieu instantanément, que la chaleur émise par les surfaces de chauffe, et par le rayonnement et par l'air, traverse la pièce avant de se rendre aux murailles, l'influence des variations de température extérieure sur le chauffage se manifeste encore, quoique à un moindre degré. Dans tous les cas, le chauffage à l'eau chaude a le même inconvénient qu'une machine dont la vitesse devrait varier accidentellement à chaque instant, et qui serait pourvue d'un énorme volant qui régulariserait le mouvement. Ainsi cette permanence d'effet des calorifères à eau chaude, que nombre de personnes ont regardée comme un avantage, n'est réellement qu'un inconvénient qui existe dans tous les cas; seulement cet inconvénient nuit moins à la régularité du chauffage lorsque les murs sont très-épais et que les vitres ont relativement une faible surface. Tous ces faits, qui résultent de considérations théoriques, s'accordent parfaitement avec l'expérience, comme nous le verrons plus loin.

2462. Il semble, au premier abord, que les inconvénients que je viens de signaler dans le chauffage à eau chaude par circulation, pourraient être atténués en diminuant le volume d'eau renfermé dans la chaudière et dans les poêles, tout en conservant leurs surfaces libres; mais les variations de l'activité du foyer auraient alors plus d'influence, et les poêles, traversés successivement par le même courant d'eau chaude, pourraient se trouver à des températures très-différentes; on retombe alors sur les inconvénients des autres modes de chauffage, relativement à la direction du foyer.

2463. Enfin, le dernier système de chauffage a lieu par l'eau chaude, formant des circuits partiels chauffés par la vapeur. Il offre

tous les inconvénients du chauffage à eau chaude par circulation, moins toutefois celui de la pression. Ce système, employé pour la première fois par M. Grouvelle dans la prison Mazas, ne saurait convenir que lorsque les espaces à chauffer sont éloignés du lieu où les foyers peuvent être établis et qu'on ne tient pas à une grande régularité dans la température.

2464. Dans chaque cas particulier, l'examen des conditions à remplir et leur importance relative, permettront facilement de reconnaître quel est le procédé de chauffage le plus avantageux.

2465. Dans tous les systèmes, il est indispensable de donner à l'air chaud de ventilation un état hygrométrique convenable, en y introduisant une certaine quantité de vapeur d'eau, parce que l'air se dessèche par le seul fait de son élévation de température, et qu'alors il provoque un accroissement de transpiration qui exerce une influence fâcheuse sur la santé.

2466. *Chauffage direct par la combustion.* — Dans tout ce qui précède, j'ai supposé que la chaleur produite par la combustion était transmise indirectement aux espaces à chauffer et à l'air de ventilation par l'intermédiaire de poêles et de calorifères de diverse nature; en brûlant directement les combustibles dans les pièces, on pourrait produire le chauffage et la ventilation à très-peu de frais, car toute la chaleur serait utilisée, et on supprimerait tous les appareils compliqués destinés à la transmission du calorique. Il est par conséquent important d'examiner en détail cette question, d'autant plus que ce mode de chauffage a lieu naturellement par le fait même de la respiration, et par tous les appareils d'éclairage.

2467. Il est d'abord évident qu'on ne saurait employer que les combustibles qui ne produisent pas de fumée, ou du moins ceux dont on peut effectuer une combustion complète. Ces combustibles sont : le charbon de bois, le coke, le gaz d'éclairage, les huiles de lampe.

2468. Pour le charbon de bois et le coke, il faudrait d'abord que l'appareil fût disposé de manière à éviter complétement la production de l'oxyde de carbone. Il paraît qu'on y parvient complétement, pour le charbon de bois en poudre, en le brûlant en couches minces dans des vases métalliques très-larges, et en renouvelant le combustible par-dessous. La combustion s'effectue à la suite d'un double mouvement de l'air, de haut en bas, et de bas en haut; elle est très-lente, parce que l'air ne pénètre jamais dans la masse de charbon et à cause des cendres qui se déposent. La quantité de chaleur nécessaire pour échauffer un mètre cube d'air de 0° à 1°, et sous la

pression ordinaire, étant égale à 1,3 . 0,24 = 0° 312, la température obtenue par la combustion de 1 kilogramme de charbon dans 1000 mètres cubes d'air s'élèverait à 8000 : 312 = 25,64 ; la quantité d'acide carbonique produit serait de 3^k,65, ou de 3,65 : 1,98 = 1^{mc},84, et la proportion dans l'air de 0,00184.

Ainsi, s'il ne se formait point d'oxyde de carbone, et s'il ne se perdait point de chaleur à travers les vitres et les murailles, en réglant la ventilation d'après l'accroissement de température, on obtiendrait un chauffage à la fois très-économique et très-salubre. Mais il faudrait beaucoup de soins dans la conduite du foyer, pour qu'on fût bien assuré qu'il ne se forme point d'oxyde de carbone, et comme en général il y a toujours une assez grande quantité de chaleur absorbée par les vitres et les murailles, l'accroissement de température ne pourrait pas servir d'indication de la ventilation ; il risquerait alors d'arriver que l'air devînt insalubre par une trop grande proportion d'acide carbonique. Les inconvénients que peut avoir ce mode de chauffage sont tellement graves, que, malgré les avantages économiques qu'il présente dans certains cas, il ne faut pas hésiter à le proscrire pour les pièces habitées. Il peut être employé sans danger pour les antichambres et les pièces de circulation, où l'ouverture fréquente des portes produit une abondante ventilation et où d'ailleurs on ne séjourne pas. Dans le midi de la France, en Espagne et dans une partie de l'Amérique, où les appartements sont en général mal clos et d'une grande hauteur, son extrême simplicité et la facilité avec laquelle on transporte le foyer d'une chambre à une autre le rendent d'un usage très-fréquent.

2469. Le chauffage par le gaz d'éclairage ne présente pas au même degré les dangers résultant de la combustion des charbons, à savoir, la production de l'oxyde de carbone ; avec les becs d'éclairage ordinaires et certains appareils de chauffage, la combustion est complète, et les gaz qui se produisent sont en très-grande partie composés de vapeur d'eau et d'acide carbonique. Nous avons vu (302 *bis*) qu'un kilogramme de gaz d'éclairage fournit en brûlant, lorsque la vapeur d'eau n'est pas condensée, une quantité de chaleur égale à 10269 calories ; d'après la composition moyenne du gaz que nous avons donnée (249), le gaz contient 5,8 p. 100 d'acide carbonique, et les éléments combustibles renferment en carbone 54,5 p. 100 du poids total du gaz ; la quantité d'acide carbonique fournie par la combustion de 1 kilogramme de gaz sera donc $0,545 \times \frac{22}{6} + 0,058 = 2^k,057$;

d'autre part, les éléments combustibles de 1 kilogramme de gaz renferment $0^k,227$ d'hydrogène, de sorte que la vapeur d'eau qui résulte de la combustion de 1 kilogramme de gaz sera de $2^k,043$. L'acide carbonique et la vapeur d'eau se trouvant directement mélangés à l'air de la pièce, le chauffage ne sera salubre qu'autant que le renouvellement d'air sera suffisant. Un mètre cube de gaz pesant $0^k,520$ pourrait, en brûlant, élever la température de 1000 mètres cubes d'air de 17°. L'état de la ventilation pourrait être apprécié par la température, s'il y avait peu de perte par les parois de la pièce, du moins relativement à la chaleur produite pendant le même temps. Mais ce dernier cas sera rare. On peut dans tous les cas se proposer de déterminer quelle devra être la ventilation minimum à produire pour que l'air de la pièce soit entretenu dans un état de salubrité suffisante ; si l'on considère la quantité d'acide carbonique renfermée dans l'air et qu'on veuille qu'elle ne dépasse pas 1 p. 100 en volume, il faudra introduire $53^{mc},6$ d'air neuf par chaque mètre cube de gaz brûlé. Si l'on considère la quantité de vapeur d'eau, il est important que l'air de la pièce n'arrive pas à la saturation, circonstance qui rend l'évaporation à la surface du corps plus lente et provoque un état de gêne véritable. Si l'on suppose que l'air doive être échauffé à 20° et qu'il doive sortir de la pièce aux 3/4 saturé de vapeur, on aura pour différentes températures de l'air extérieur supposé à moitié saturé, à introduire par mètre cube de gaz brûlé la quantité d'air suivante :

Température de l'air extérieur.	Renouvellement d'air.
— 10°	85^{mc}
0°	112
10°	120

Ce mode de chauffage est surtout avantageux quand les becs de gaz sont en même temps employés à l'éclairage, parce que ce dernier effet supporte les frais de chauffage ; si le gaz devait être employé uniquement pour le chauffage, son emploi coûterait beaucoup plus cher que celui des combustibles solides ; nous avons vu en effet (277) que le prix de 1,000 calories est

Pour la houille de.....	$0^f,0081$
— le bois.....	0 ,0203
— le gaz.....	0 ,0561

Il y a cependant des circonstances dans lesquelles ce mode de chauffage serait avantageux : c'est, par exemple, le cas où il faudrait

échauffer très-rapidement l'air d'un grand espace fermé, ou encore quand le chauffage doit être très-intermittent.

Quelque soin que l'on donne à la construction des appareils de chauffage à gaz, il ne paraît pas que l'innocuité des gaz de la combustion soit complète, et dans tous les cas où ces produits ne sont pas directement évacués dans une cheminée, il en résulte toujours pour les personnes qui doivent séjourner dans les pièces ainsi échauffées un état de malaise, des maux de tête, des tendances au vomissement, etc. Aussi doit-on condamner d'une façon absolue les chauffages au gaz exécutés sans cheminée spéciale d'évacuation des produits de la combustion.

2470. Il est encore facile de chauffer l'air avec des calorifères à gaz disposés comme ceux dans lesquels le foyer est alimenté par les combustibles ordinaires. Les appareils seraient plus simples, parce qu'on n'aurait pas à se préoccuper du nettoyage des tuyaux de conduite ; mais il faudrait alimenter les becs avec le moins d'air possible, afin de faire circuler de l'air à une plus haute température, circonstance qui augmenterait la quantité de chaleur transmise par les surfaces de chauffe, et qui diminuerait la perte de chaleur par la cheminée. Il se présente alors cependant un inconvénient grave qui est le dépôt de l'eau de la combustion dans les tuyaux d'évacuation ; cet inconvénient ne pourra être évité qu'en augmentant la quantité d'air mélangé au gaz, ce qui diminuera légèrement l'effet utile. En employant ce mode de chauffage, on n'altérerait pas l'air échauffé, mais le prix de revient serait encore plus élevé que dans le cas du chauffage direct ; et je ne vois réellement que peu de circonstances dans lesquelles il serait utile de l'employer.

2471. Tout ce que je viens de dire sur le chauffage par la combustion du gaz, aurait lieu pour le chauffage par les autres modes d'éclairage, les lampes et les bougies, et le prix de revient serait encore plus élevé. Mais comme le chauffage par les bougies et les lampes a toujours lieu en même temps que l'éclairage, il est utile de savoir les effets qu'ils produisent sous ce rapport. Pour la cire, dont la puissance calorifique est de 11000, la combustion de 1 kilogramme élèverait la température de 1000 mètres cubes d'air de 35° 2 ; il se produirait $1^{mc},508$ d'acide carbonique, et la proportion de ce gaz dans l'air serait alors de 0,0015 ; le poids de la vapeur d'eau formée serait de $1^{k},25$, de sorte que chaque mètre cube renfermerait $0^{k},00125$; l'air à 35° peut en dissoudre $0^{k},031$. Pour l'huile de lampe ordinaire, dont la puissance calorifique est de 10400, la combustion de 1 kilogramme

élèverait la température de 1000 mètres cubes de 33°,33 ; le volume d'acide carbonique produit serait de $1^{mc},42$; la proportion d'acide dans l'air, de 0,00142 ; le poids de vapeur produite serait de $1^{k},197$, et par mètre cube de $0^{k},00119$, tandis qu'à cette température, un mètre cube d'eau pourrait dissoudre $0^{k},029$ de vapeur.

2472. *Observations sur les quantités de chaleur employées par le chauffage.* — Supposons d'abord que le chauffage soit continu et que la température intérieure des pièces soit maintenue jour et nuit au même point. La différence entre les températures des surfaces intérieures et extérieures des murailles étant peu considérable, on pourra admettre, sans s'écarter beaucoup de la vérité, que si la quantité de chaleur fournie intérieurement est convenable, le régime des murailles sera constamment établi, et que la quantité de chaleur employée sera proportionnelle à l'excès moyen de la température intérieure sur la température extérieure. C'est, en effet, ce qu'on a constaté par expérience dans plusieurs grands établissements chauffés par différents procédés, comme nous le verrons en parlant du chauffage des églises et des prisons cellulaires. Dans les cas que nous considérons, il y a à déterminer la quantité de chaleur perdue par les murailles, par le sol et par la partie supérieure des édifices. J'examinerai d'abord ces deux derniers points.

2473. La perte de chaleur par le sol des édifices est en général assez faible. En effet, dans nos climats, la couche de température constante est à peu près à 8 mètres de profondeur, et la température est égale à la température moyenne annuelle, qui est de 10 à 11 degrés. Cette profondeur suppose que la surface du sol est libre ; elle varie avec la nature du terrain ; elle doit diminuer au-dessous des lieux couverts de constructions, parce qu'ils sont soustraits aux variations diurnes et annuelles de température, surtout quand les constructions qui dépassent le sol sont faites sur cave. Le sol des édifices maintenus à une température constante doit transmettre peu de chaleur, par la raison que je viens d'indiquer, et aussi à cause du flux permanent de chaleur qui arrive des grandes profondeurs. Cependant cette quantité de chaleur n'est pas négligeable et on peut la supposer égale, au point de vue de la pratique, aux $\frac{2}{3}$ de celle qui traverse un mur d'édifice ordinaire.

2474. Les édifices publics et les maisons particulières étant toujours terminés à la partie supérieure par une charpente horizontale, épaisse, dont la partie inférieure forme le plafond du dernier étage,

et cette charpente, qui conduit déjà si mal la chaleur, étant surmontée de celle qui soutient la toiture, il en résulte que la perte de chaleur par la partie supérieure des édifices est faible; on peut la prendre égale à la moitié à peu près de celle qui se produit par les murs. Il en est de même dans les églises dont les voûtes sont en pierre, parce que, en général, la toiture est soutenue par une grande quantité de pièces de bois qui rendent la diffusion de la chaleur très-lente. Mais quand les églises n'ont point de voûtes au-dessous de la toiture, il y a par la partie supérieure une perte de chaleur qui dépend de la nature des matériaux employés, et de leur épaisseur.

2475. Quant à la chaleur qui passe à travers les murs et les vitres, nous avons calculé séparément, dans le premier volume, les quantités de chaleur transmises, par mètre carré et par heure, dans des cas extrêmes qui ne se rencontrent jamais exactement; il est évident que ces quantités dépendent des surfaces totales des vitres et des murailles. Nous examinerons, dans les différents cas particuliers, les modifications que les nombres indiqués doivent éprouver.

2476. Dans la pratique, pour les constructions ordinaires, et en supposant une différence de température de 25° de l'intérieur à l'extérieur, on peut prendre pour quantités de chaleur transmises par mètre carré et par heure

Pour les murs.....	45	calories.
— les vitres.....	100	—
— les plafonds.....	20	—
— le sol.....	30	—

Ces nombres représentent, pour nos climats, le maximum ou à peu près de la perte qui doit se produire.

2477. *Température des mois de chauffage à Paris.* — La connaissance des températures moyennes des mois de chauffage étant indispensable pour la détermination des surfaces de transmission de la chaleur et pour le calcul approximatif des quantités moyennes de combustible à brûler, j'ai réuni, dans le tableau suivant, les résultats des observations faites à l'Observatoire de Paris, de 1840 à 1850 inclusivement :

MOIS.	TEMPÉRATURE moyenne.	TEMPÉRATURE maximum.	TEMPÉRATURE minimum.	LIMITES EXTRÊMES des températures moyennes.
Janvier.....	2°29	11°40	— 7°50	— 1°4 à 5°2
Février.....	4 34	13 40	— 4 85	— 0 6 à 7 5
Mars.....	6 58	17 67	— 2 91	1 3 à 9 1
Avril.....	10 49	22 81	1 06	8 2 à 12 7

Mai.....	14 40	26 89	4 39	11 0 à 17 3
Juin.....	17 90	30 51	7 53	15 5 à 21 0
Juillet.....	18 67	32 44	10 17	16 6 à 20 8
Août.....	18 48	30 65	9 60	14 85 à 20 95
Septembre.....	16 10	28 34	6 60	14 2 à 18 5
Octobre.....	11 00	20 43	0 84	8 5 à 12 3
Novembre.....	7 00	16 00	— 2 40	5 4 à 8 4
Décembre	3 01	11 87	— 6 70	— 2 3 à 5 8

2478. A Paris, il y a sept mois de chauffage, du commencement d'octobre à la fin du mois d'avril; la température moyenne de ces sept mois, déduite de dix années d'observations, est de 6° 4; mais cette température moyenne peut varier de 2° 71 à 8° 71. En supposant la température intérieure maintenue à 15°, l'excès moyen de la température intérieure sur la température extérieure sera de 8° 6; et cet excès pourrait varier de 15° — 2° 71 = 12° 29, à 15° — 8° 71 = 6° 29.

2479. Lorsque le chauffage est intermittent, il est impossible de calculer, même approximativement, les dépenses de combustible nécessaires pour maintenir les pièces pendant un certain temps à une certaine température, parce qu'une très-grande partie de la chaleur produite est absorbée par les murailles, et que cette quantité varie suivant l'épaisseur et la nature des murailles, la température extérieure et la durée de l'intermittence.

2480. Pour les grands établissements publics, dans lesquels la température doit être constante, comme dans les hôpitaux, les prisons cellulaires, l'étude détaillée des projets doit être accompagnée du calcul des quantités de chaleur maximum à fournir dans les circonstances les plus défavorables, et de la quantité moyenne de chaleur consommée pendant la durée du chauffage. La consommation moyenne de combustible se déduit facilement de la quantité de chaleur à fournir, mais il faut dans chaque cas tenir compte de la chaleur perdue, qui peut s'élever jusqu'à 50 p. 100.

2481. Les dimensions des appareils doivent être calculées pour les circonstances les plus défavorables. On pourrait cependant, pour les surfaces de chauffe, rester un peu au-dessous de celles qui correspondent au minimum de température extérieure, du moins quand ce minimum n'est pas de longue durée (comme cela a lieu dans la majeure partie de la France), et que les murailles ont une grande épaisseur, parce que l'énorme quantité de chaleur qu'elles renferment suffit pour pourvoir à un froid exceptionnel; d'ailleurs, si la température intérieure s'abaissait de 1 ou 2°, pendant les plus grands froids,

on ne s'en apercevrait pas, car la sensation qu'on éprouve dans les lieux échauffés dépend surtout de l'excès de leur température sur celle de l'air extérieur. Mais l'économie qu'on obtiendrait pourrait avoir de graves inconvénients ; si par une circonstance quelconque le chauffage avait été interrompu, et s'il fallait établir le régime dans les murailles au milieu de l'hiver, on n'y parviendrait pas avec des appareils qui n'auraient pas une puissance suffisante.

CHAPITRE II

Chauffage et assainissement des habitations particulières.

Le chauffage des habitations particulières peut s'effectuer par différentes méthodes, que nous allons examiner successivement.

Chauffage par le sol.

2482. Chez les Romains, les maisons d'habitation des personnes riches étaient chauffées par le sol, au-dessous duquel se trouvaient des tuyaux en maçonnerie parcourus par l'air brûlé, venant d'un foyer spécial. Cet air s'élevait ensuite dans des canaux verticaux, placés dans l'intérieur des murs, et qu'on a considérés comme destinés à chauffer les étages supérieurs, mais qui certainement servaient en même temps de cheminées, car, sans cheminées, la combustion n'aurait pu s'effectuer. Ces appareils portaient le nom d'*hypocaustrum*.

2483. En Chine, des dispositions analogues sont usitées à Pékin, où les hivers sont très-froids, mais encore seulement par la classe riche.

2484. Ce mode de chauffage n'est plus employé en Europe. Il est peu avantageux, à cause de la grande quantité de chaleur transmise à travers le sol ; et d'ailleurs l'existence des caves, au-dessous des maisons modernes, le rend à peu près impossible à établir.

Chauffage direct par la combustion.

2485. La combustion directe du charbon ou du bois, dans des brasiers placés au milieu de la pièce, a été le premier moyen de chauffage. Ce système, dont nous avons déjà parlé (2466), était généralement employé par les Grecs et les Romains ; il est encore usité, avec

le charbon de bois, en Espagne, en Italie, et dans certaines contrées de l'Amérique. Il est d'une extrême simplicité, et utilise toute la chaleur dégagée par le combustible ; mais, d'un autre côté, les produits de la combustion, toujours désagréables aux personnes, et nuisibles aux meubles et aux tentures, peuvent de plus, dans certains cas, être fort dangereux pour la santé.

2486. Remarquons, en effet, que 1 kilogramme de charbon, en brûlant, convertit en acide carbonique la totalité de l'oxygène qui se trouve dans 9 mètres cubes d'air ; mais l'air devient impropre à la respiration quand il ne renferme plus que le tiers de l'oxygène normal : d'où il suit que la combustion de 1 kilogramme de charbon rend irrespirables 27 mètres cubes d'air. Ainsi, l'air d'un appartement clos, de 4 mètres de longueur sur 4 de largeur et 3 de hauteur (soit 48 mètres cubes de capacité), serait rendu impropre à la respiration, et asphyxierait les hommes qui le respireraient, par la combustion de $1^k,74$ de charbon.

2487. Il est vrai que l'excès de température forcerait bien vite à ouvrir les fenêtres ; car, en admettant qu'il n'y eût que peu de causes de refroidissement, la combustion de cette quantité de charbon élèverait la température de l'air de $\frac{1,74 \times 7000}{48^{mc} \times 1,3 \times 0,2377} = 820°$. En réalité, le danger ne résulte que de la production de l'oxyde de carbone, qui donne beaucoup moins de chaleur et dont l'action sur l'économie animale est encore bien plus délétère. Les expériences de M. Félix Leblanc ont en effet démontré, comme nous l'avons vu (2354), que la présence de 1 centième de ce gaz dans l'air suffit pour donner la mort aux animaux à sang chaud.

2488. Le chauffage direct de l'air par la combustion doit être proscrit toutes les fois que les hommes doivent séjourner dans l'air échauffé ; mais on peut l'appliquer avec moins d'inconvénients au chauffage des antichambres et des pièces où l'ouverture des portes produit nécessairement un renouvellement d'air qui atténue beaucoup les dangers que nous avons signalés. Il convient toutefois de conduire la combustion dans les brasiers de manière à éviter la production de l'oxyde de carbone ; et, sous ce rapport, l'emploi de la braise, dont la combustion s'effectue principalement à la surface, d'une manière lente et continue, permet, beaucoup moins que le charbon en fragments, la production de ce gaz.

Chauffage de l'air des appartements par le rayonnement du combustible dans des foyers ouverts.

2489. On a fait beaucoup de recherches pour savoir si les anciens faisaient usage des cheminées. Les maisons découvertes à Herculanum et à Pompéia n'en offrent point; ainsi on doit présumer qu'à l'époque de la destruction de ces deux villes, on ne connaissait pas encore les cheminées en Italie, et qu'on se servait alors de foyers ouverts et portatifs. Les palais paraissent avoir été chauffés, à cette époque, comme nous l'avons déjà dit, par des fours placés au-dessous du rez-de-chaussée, dont la chaleur se distribuait dans la masse des bâtiments, et aussi par des foyers fixes, ouverts de tous les côtés, établis au milieu des pièces, et dont la fumée s'échappait par un orifice percé dans le toit. Ces deux modes de chauffage devaient exiger une énorme quantité de combustible.

2490. Au temps de Sénèque, on commença à pratiquer des tuyaux dans les murs, pour porter la chaleur dans les étages supérieurs. Il est probable que c'est là l'origine des tuyaux destinés à recevoir la fumée.

2491. L'époque à laquelle il faut placer l'origine des cheminées est assez incertaine; les auteurs du commencement du quatorzième siècle semblent ne les pas connaître.

2492. La date la plus ancienne, et en même temps la plus certaine où il ait été question des cheminées, est l'année 1347. Une inscription trouvée à Venise apprend que cette année un tremblement de terre renversa un grand nombre de cheminées. Les premiers ramoneurs qui vinrent en France étaient originaires de la Savoie, du Piémont et des autres pays circonvoisins. Ces contrées ont été pendant longtemps les seules où le métier de ramoneur fût pratiqué; d'où l'on peut conjecturer que les cheminées ont été inventées en Italie.

2493. L'usage des poêles est très-répandu dans le Nord, tandis qu'en France et dans la Grande-Bretagne on préfère les foyers découverts. Dans les parties les plus chaudes de l'Espagne et de l'Italie, on voit très-peu de cheminées; le seul moyen de tempérer le froid, souvent très-vif pendant certains jours d'hiver, consiste à brûler du charbon de bois dans les foyers portatifs appelés braseros, dont nous avons déjà parlé (2485).

2494. On donna d'abord à l'ouverture des foyers découverts et aux tuyaux à fumée des dimensions démesurées; ces dimensions, conser-

vées encore dans les campagnes, produisent de très-graves inconvénients. La ventilation est énorme, et la masse d'air froid qui afflue du dehors vers le foyer refroidit tellement l'appartement, qu'il n'y a qu'une très-minime proportion de chaleur utilisée. Enfin, la vitesse de l'air dans la cheminée étant très-petite à cause de son grand diamètre et de la température peu élevée de la fumée, le tirage est facilement influencé par les vents, et il s'établit souvent dans la cheminée deux courants opposés, qui occasionnent le dégagement de la fumée dans la pièce; il peut même arriver que la quantité d'air appelé, croissant avec l'activité de la combustion, l'appartement se refroidisse d'autant plus que la consommation de combustible est plus forte. Les grandes ouvertures de foyers et les grandes sections de cheminées ont été abandonnées dans les villes depuis longtemps; mais celles qui ont été conservées sont encore souvent trop considérables, et les foyers actuels ont, en partie du moins, les inconvénients des anciens.

2495. Rumfort fut le premier qui améliora la construction des foyers; il rétrécit à 0,12 ou 0,15 de large l'orifice de communication avec la cheminée, diminua de près de moitié la profondeur du foyer, et le termina latéralement par des murs inclinées à 45°. Ces foyers (fig. 617 et 618), connus généralement sous le nom de cheminées à la Rumfort, sont beaucoup plus avantageux que les anciens; la quantité d'air non brûlé qui passe dans le tuyau à fumée étant plus petite que pour les foyers ordinaires, la température de la fumée cesse d'être aussi faible. L'air brûlé se répartit d'une manière plus uniforme dans le canal, et l'ouverture supérieure étant également rétrécie, les doubles courants ne s'y établissent pas aussi facilement; la combustion est aussi plus vive, parce que la vitesse de l'air à l'orifice est plus grande, et que l'air affluent est mieux dirigé sur le combustible, ou du moins sur la flamme.

Fig. 617 et 618.

2496. Lhomond a modifié la disposition de Rumfort, et ajouté un tablier mobile, qui permet de régler à volonté l'orifice d'accès de l'air. On peut ainsi forcer presque tout le courant à passer sur le combustible; ce qui est très-utile, surtout pour l'allumage du foyer. Les

figures 619, 620, représentent cette cheminée en élévation et en coupe horizontale ; la figure 621 donne les détails du tablier mo-

Fig. 619.

bile. Ce tablier se compose de trois volets en tôle mince, glissant les uns sur les autres dans une rainure figurée au plan ; celui qui est à la partie inférieure est soutenu au milieu par une chaîne, qui, après avoir passé sur deux poulies, se termine par un contre-poids. Les che-

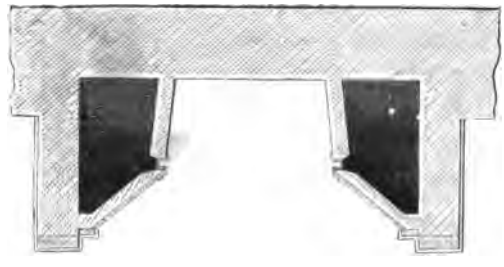


Fig. 620.

Fig. 621.

minées de Lhomond sont aujourd'hui excessivement répandues, surtout à Paris.

2497. *Cheminée à houille et à coke.* — Les figures 622 et 623 représentent l'élévation et la coupe d'une cheminée à houille. Les jambages sont disposés comme dans la cheminée de Lhomond, et le combustible brûle sur une grille formée de barreaux qui sont fixés dans les murs latéraux du foyer. *abcd* est un tablier mobile autour de la charnière *cd*, et qu'on abaisse devant la grille pour allumer le combustible. Dans cette position, tout l'air appelé par la cheminée passe nécessairement à travers le foyer, et le tirage est beaucoup augmenté. On emploie aussi des tabliers qui ne font point par-

tie de la cheminée, et qu'on accroche à un clou devant le foyer, quand on veut allumer le combustible.

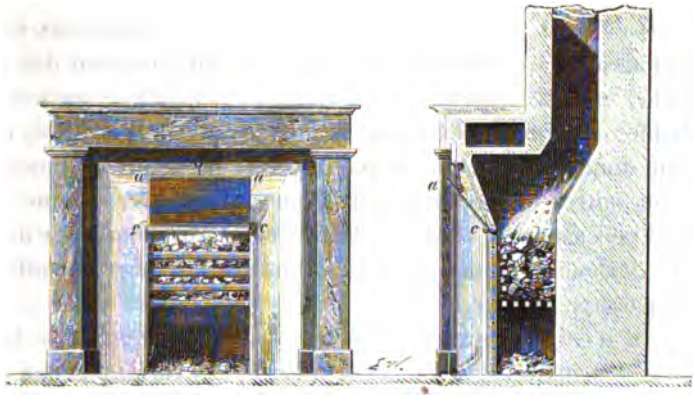


Fig. 622. *Fig.* 623.

2498. En Amérique, on brûle l'anthracite dans des foyers disposés à peu près de la même manière.

2499. Une bonne disposition de foyer à houille consiste à placer la grille tout à fait en saillie, de manière à utiliser le plus possible la chaleur rayonnante. Une calotte demi-circulaire sert à diriger la fumée dans le tuyau de cheminée.

2500. On peut encore brûler la houille et le coke dans une cheminée ordinaire de Lhomond, en mettant à la place des chenets une grille en fonte de forme convenable.

2501. *Considérations générales sur les cheminées.* — Le chauffage par les foyers découverts a pour objet de laisser voir le feu. Cette vue du feu est devenue un besoin auquel on sacrifie une grande quantité de combustible, et auquel on ne renoncera pas en France et dans quelques pays. Ce qu'il convient donc de chercher à réaliser, c'est d'effectuer avec cette condition le chauffage et la ventilation le plus économiquement possible.

2502. La première condition à remplir, pour toutes les cheminées, est d'assurer le renouvellement de l'air dans les pièces chauffées. Le plus souvent on ne prend aucune disposition particulière dans ce but, et l'air nécessaire à la combustion s'introduit par les fissures des portes et des fenêtres. Il en résulte des courants d'air froid souvent très-désagréables, et des irrégularités qui peuvent être cause que la fumée se répand dans la pièce. Il est préférable de régler la ventilation par des ouvertures spéciales et de dimensions suffisantes.

prenant directement l'air à l'extérieur; et il convient, au point de vue de la salubrité et de l'économie, de chauffer l'air avant son introduction dans l'appartement.

Les prises d'air neuf s'exécutent au moyen de caniveaux établis dans l'épaisseur des planchers et débouchant au parement des murs de façade; mais ces conduits sont ordinairement d'une section bien trop faible; de plus on les garnit à leur origine à l'air libre, d'une grille qui diminue la section de passage de l'air de près de moitié et cause, en outre, une contraction et une résistance. Comme cette grille est nécessaire, il faudrait ébraser ces caniveaux à leur débouché à l'extérieur de manière à obtenir une section de grille suffisante pour le passage de l'air neuf.

2503. Il n'est pas possible de fixer d'une manière précise les dimensions des tuyaux de cheminée, à cause des variations dans l'intensité du feu qu'on y fait. D'après un grand nombre d'expériences faites sur différentes cheminées, dont plusieurs étaient disposées de la manière la plus favorable pour diminuer le volume d'air qui échappe à la combustion, on peut admettre qu'en général, dans les foyers découverts, le volume d'air appelé est au moins de 100^{mc} par kilogramme de bois, et on a reconnu qu'une ouverture circulaire de $3^{dmq},5$ à $4^{dmq},5$ est presque toujours suffisante pour le tuyau de cheminée, et à plus forte raison pour le tuyau d'arrivée d'air. Pour de grandes pièces, comme des salons devant recevoir un grand nombre de personnes et exigeant par suite une plus grande ventilation, on augmente la section et on peut la porter à 7^{dmq} au plus quand on les fait en poterie; si on voulait avoir de plus grandes dimensions. il faudrait une cheminée en briques à laquelle on pourait alors donner une large section.

2504. La seule chaleur utilisée dans les foyers ordinaires est celle qui provient du rayonnement; par conséquent, les combustibles les plus avantageux sont ceux qui ont un grand pouvoir rayonnant. La houille et le coke, sous ce rapport, sont préférables au bois.

2505. L'ouverture d'une cheminée ordinaire laisse passer dans l'appartement à peu près le quart de la quantité totale de chaleur rayonnée par les combustibles. Or, comme la chaleur rayonnée est 0,25 de la chateur totale dégagée pour le bois, 0,50 pour le charbon de bois, la houille et le coke, la chaleur utilisée dans les foyers découverts est à peu près égale à 0,06 de la chaleur totale pour le bois, et 0,12 pour les trois autres combustibles.

2506. On a cherché à perfectionner les cheminées, soit en facili-

tant l'accès de l'air, soit en utilisant une plus grande fraction de a chaleur rayonnante, et une partie de celle renfermée dans les gaz chauds. Nous allons passer en revue les principaux types qui ont été ou qui sont encore appliqués.

2507. *Cheminées à ventouses.* — La figure 624 représente la coupe d'un système de cheminée aujourd'hui à peu près abandonné, mais qui, lors de son invention, a eu beaucoup de vogue : c'est ce qu'on appelle une cheminée à ventouse. Un canal, placé sous le parquet de la chambre, prend l'air à l'extérieur, débouche dans un des jambages de la cheminée que l'on fait creux à cet effet, et porte l'air dans la capacité A′ d'où il s'écoule en nappe par la fente B. Parfois cette fente est placée d'une manière plus incommode encore, car elle est en A au-dessus de la plaque garnie de faïence AB. Cela se fait ainsi quand on emploie le rideau mobile de la figure 619 ; certains fumistes dans ce cas posent ces ventouses dans les parois latérales de l'ébrasement garni de faïence ; enfin il y a même des fumistes qui font déboucher la ventouse dans la gaîne même de la cheminée sous ce prétexte que l'air extérieur pousse ainsi la fumée et empêche la cheminée de fumer ; cette dernière disposition est absurde ; les précédentes sont inintelligentes en ce sens que, si elles font brûler le combustible, elles ont l'inconvénient de produire devant la cheminée un courant d'air froid et incommode, sans effectuer la ventilation de l'appartement.

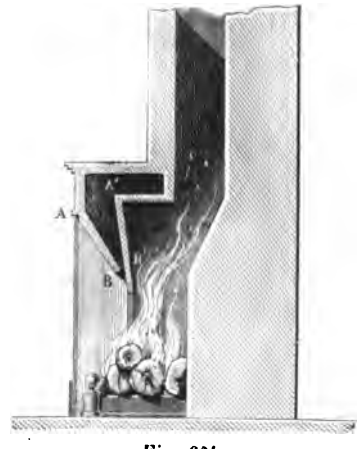


Fig. 624.

2508. *Cheminées à foyer mobile.* — Il y a une trentaine d'années, M. Bronzac, pour augmenter l'effet utile du combustible, a eu l'ingénieuse idée de rendre le foyer mobile. Ce foyer se compose d'une caisse en fonte (*fig.* 625, 626), ouverte en avant, et mobile sur quatre galets ; la caisse est logée dans une cheminée ordinaire de Lhomond. Pour allumer le feu, on enfonce le foyer dans la cheminée, dont on baisse le tablier ; quand la combustion et le tirage sont bien établis, on l'avance dans l'intérieur de la pièce, de manière à profiter autant que possible, sans qu'il en résulte de fumée, de la chaleur rayonnante. Ces appareils, bien exécutés à l'origine, ont eu

beaucoup de succès; mais, après l'expiration du privilége de l'inventeur, leur construction moins soignée par des fumistes qui voulaient les livrer à trop bas prix, a été probablement une des causes qui en ont beaucoup restreint l'usage; et les seules cheminées de ce

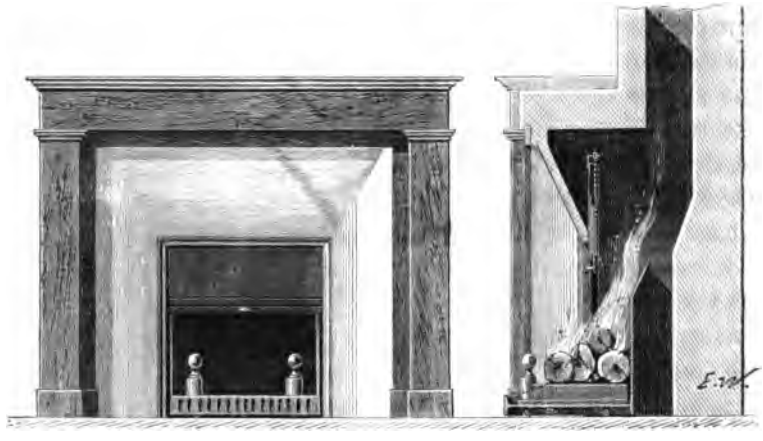


Fig. 625. *Fig.* 626.

genre que l'on rencontre encore quelquefois sont de celles que Bronzac avait construites ; les autres ont complétement disparu.

2509. A l'Exposition universelle de 1855 se trouvait un appareil du même genre. Le foyer pouvait s'avancer de plusieurs mètres dans l'intérieur de l'appartement; la fumée se rendait alors dans la cheminée par un tuyau formé de tubes rentrant les uns dans les autres, comme pour un télescope. Cette disposition n'est nullement à recommander, elle constitue un ensemble qui n'est ni beau ni commode.

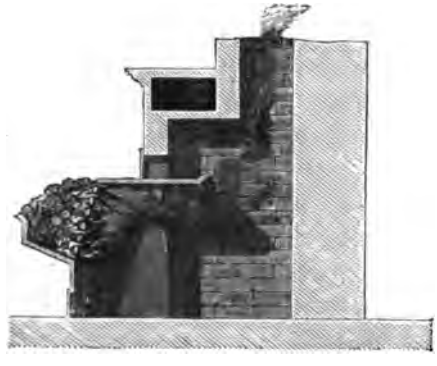


Fig. 627.

2510. *Foyers découverts à flamme renversée.* — La figure 627 représente un appareil dans lequel le foyer est entièrement découvert. La flamme, au lieu de s'élever verticalement, se renverse dans la masse en ignition, et la totalité de l'air appelé est ainsi obligée de traverser le foyer. Pour établir

le tirage, on brûle quelques menus combustibles par la porte placée au-dessus de la grille. Les foyers à flamme renversée, qui utilisent plus de chaleur rayonnante lorsque toute la masse de charbon est embrasée, exigent un tirage puissant, qui ne suffit même pas toujours pour empêcher le dégagement de la fumée dans la pièce. La disposition de la figure 627 est indiquée comme principe, et ne saurait être employée qu'avec de nombreuses modifications.

2511. Les figures 628 et 629 représentent une cheminée imaginée par M. Millet, et dans laquelle la combustion se fait à flamme renversée, dans des conditions qui diminuent les chances de dégagement de fumée dans la pièce. L'appareil se compose de trois pla-

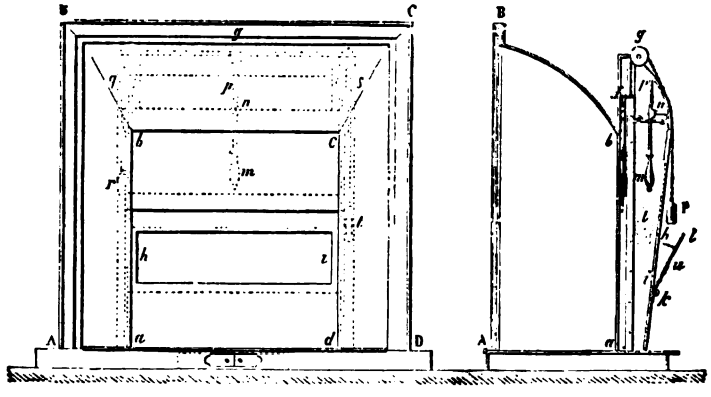


Fig. 628. *Fig.* 629.

ques métalliques cintrées, ABCD, *abcd*. Les trois grands côtés AB, BC, CD, se raccordent avec le chambranle de la cheminée ; les trois petits côtés encadrent le foyer ; le tablier mobile *f* sert à fermer plus ou moins le cadre du foyer ; il reste en équilibre dans toutes ses positions à l'aide du contre-poids P, fixé à une chaîne attachée au tablier, et qui passe sur la poulie *g ; hi,* ouverture pratiquée dans le contre-cœur, et que l'on ferme plus ou moins, à l'aide du volet *kl*. La position de ce volet se règle au moyen de la poignée *m ;* cette dernière, mobile autour de l'axe horizontal *n*, porte au point *p* deux chaînes dont l'une, après s'être enroulée sur la poulie *q*, supporte le poids *r*, et dont l'autre s'enroule sur les poulies *s* et *t*, et s'attache à un crochet fixé au volet Le contre-poids *r* est destiné à maintenir le volet dans une position quelconque. La fumée peut s'écouler dans la cheminée par l'orifice *hi* et par une fente percée dans la partie

supérieure de la caisse, et qui diminue de section à mesure qu'on élève le tablier, sans pouvoir jamais être complétement fermée.

2512. Par cette disposition, la combustion est plus complète que dans les appareils ordinaires; ce qui est loin d'être ici un avantage pour le chauffage, parce que la flamme se produit en grande partie dans la cheminée. La combustion s'effectue avec une quantité d'air peu supérieure à celle nécessaire, ce qui est un grave inconvénient; car les appartements ne sont réellement salubres qu'avec une assez grande ventilation. En outre, il arrive encore assez fréquemment que de la fumée se dégage dans la pièce.

2513. Plus tard, M. Touet-Chambor a cherché à répandre un appareil (*fig.* 630, 631) basé sur le même principe que le précédent, mais disposé pour brûler de la houille; et, à cet effet, une grille F remplace les chenets. L'air qui afflue sur le combustible produit une

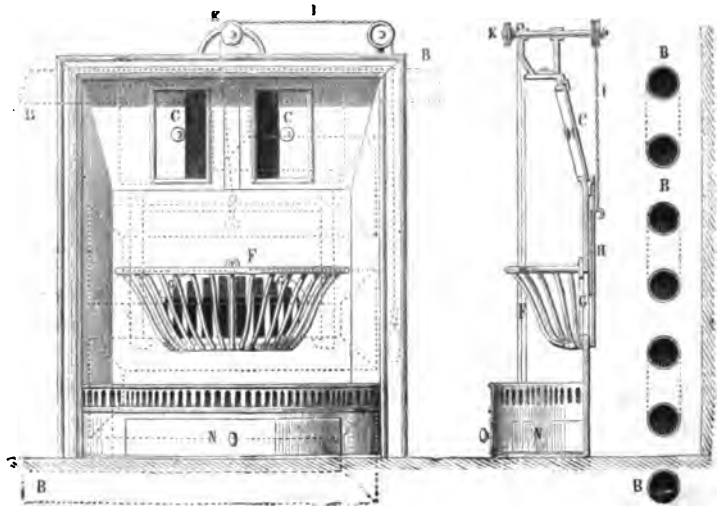


Fig. 630. *Fig.* 631.

flamme renversée, qui pénètre dans la cheminée à travers une seconde grille G, dont on règle la section libre par un registre H glissant entre deux rainures, et maintenu par un contre-poids. Au-dessus du foyer se trouvent deux ouvertures, fermées en partie par deux registres C, C, et par lesquelles s'écoulent les produits de la combustion qui auraient échappé à l'appel par la grille G. Cet appareil ne présente pas plus d'avantages que celui de M. Millet; toutefois, pour éviter de perdre la chaleur des gaz chauds, M. Touet-Chambor

a ajouté dans la cheminée un tuyau serpentant B B, en tôle, dans lequel de l'air venant de l'extérieur circule et s'échauffe avant de pénétrer dans l'appartement.

2514. M. le docteur anglais Arnott a présenté à l'Exposition universelle de 1855 une cheminée dont j'ai déjà parlé, et qui avait le double objet de brûler la fumée et de renfermer du combustible pour un grand nombre d'heures. Comme cet appareil présente en outre des dispositions relatives à la ventilation, j'y reviendrai plus loin.

2515. *Foyers découverts, dans lesquels on utilise une partie de la chaleur de l'air brûlé.* — Dans toute cette série d'appareils, il existe à l'arrière ou autour du foyer une espèce de calorifère qui communique par le bas avec l'air extérieur, et par le haut avec l'appartement. L'air, en s'y échauffant, détermine un appel d'autant plus actif que le calorifère a une grande hauteur, et que la température y est plus élevée; il entre donc constamment dans la pièce un courant d'air qui produit la ventilation, et sert ensuite à la combustion. Avec ce genre de cheminées disparaîtrait l'inconvénient de l'air froid ap-

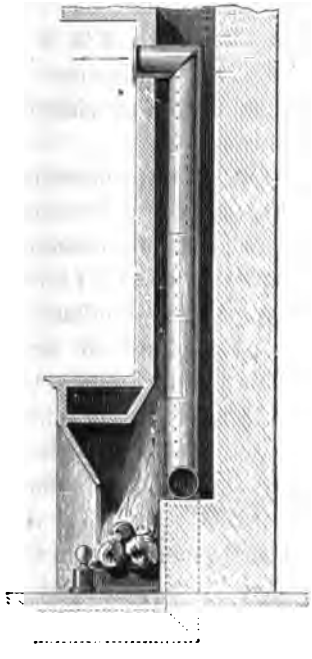


Fig. 632.

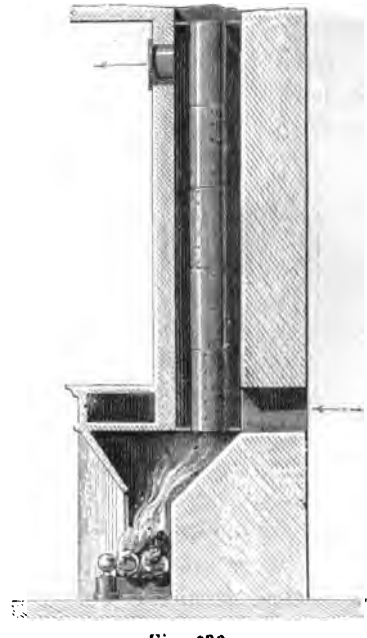


Fig. 633.

pelé par les fissures des portes et fenêtres, si les appareils avaient des sections suffisantes pour laisser passer tout l'air que l'appel de

la cheminée peut enlever. Les cheminées tendent également moins à fumer, parce que l'air peut pénétrer plus facilement dans l'appartement. Une condition importante à remplir, dans tous ces appareils, est de rendre le nettoyage facile, ainsi que le ramonage de la cheminée.

2516. Une des dispositions les plus simples, employée quelquefois, consiste à placer dans la cheminée (*fig.* 632) un tuyau de tôle communiquant par le bas avec l'air extérieur, et s'ouvrant dans la pièce près du plafond. L'appel d'air extérieur s'établit ainsi d'une manière très-efficace ; mais il faut démonter le tuyau pour le ramonage. On a évité cet inconvénient, en faisant passer la fumée dans le tuyau, et l'air extérieur tout autour, comme le montre la figure 633. Mais ces dispositions, qui exigent que la cheminée ait une assez grande section, nécessitent en outre des constructions accessoires toujours gênantes quand il faut les faire après coup. La disposition de la figure 633 a été appliquée en Angleterre par M. Douglas Galton au chauffage des casernes.

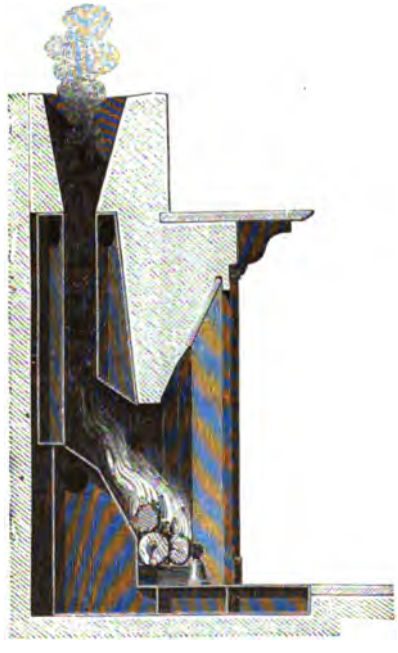


Fig. 634.

2517. M. Leras, professeur de physique au lycée d'Alençon, a exposé en 1855 une cheminée, représentée figure 634. Le foyer a très peu de profondeur, et, par suite, l'amplitude du rayonnement du combustible est très-étendue. L'air extérieur circule d'abord sous l'âtre de la cheminée, puis derrière, et enfin de chaque côté du foyer ; il vient s'échapper par plusieurs bouches placées latéralement. L'ouverture du foyer est environnée d'une plaque en cuivre poli, pour augmenter la chaleur rayonnée. Tout cet ensemble ne laisse pas de donner une économie importante ; toutefois l'avancement du foyer risque d'occasionner souvent de la fumée dans les pièces.

2518. Les figures 635 et 636 représentent une élévation et une coupe transversale d'un autre appareil destiné à utiliser une partie

de la chaleur de l'air brûlé. Sous le foyer est une caisse rectangulaire, en fonte ou en tôle, d'une petite hauteur ; elle communique avec un canal qui s'ouvre à l'extérieur. Sur la partie postérieure de la caisse se trouvent fixés un certain nombre de tubes recourbés,

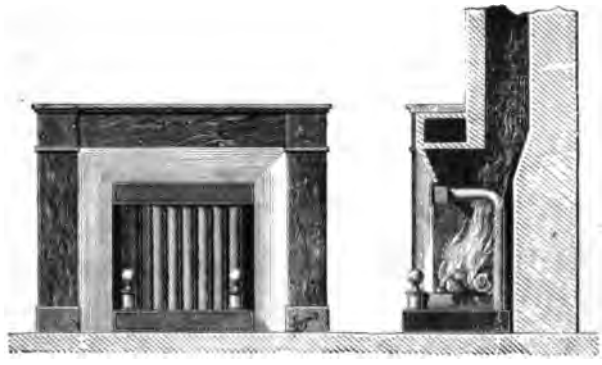


Fig. 635. *Fig.* 636.

qui viennent aboutir à une autre caisse placée au-dessus du cadre du foyer, et qui est fermée en avant par une toile métallique. L'air brûlé, passant entre les tubes pour se rendre dans le tuyau de la cheminée, échauffe l'air froid qui circule dans leur intérieur, et qui vient se dégager ensuite dans la pièce. Il n'est pas possible, avec cette disposition, de brûler de la houille ou du coke ; la combustion se maintiendrait trop difficilement au contact des tubes. De plus, l'air chaud en quantité assez faible introduit dans la pièce ne sert guère à sa ventilation. Cependant ce mode remplace avantageusement la ventouse du n. 2507, en ce que les personnes qui se chauffent ne sont pas soumises au choc de nappes d'air froid. Mais ces tubes sont sujets à se disloquer et sont un obstacle au ramonage.

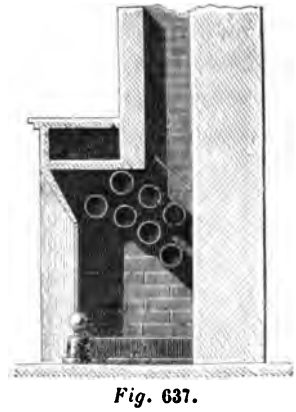


Fig. 637.

La figure 637 représente une disposition du même genre dans la quelle les tubes sont placés horizontalement au-dessus du foyer. Elle est toutefois moins bonne que la précédente dans laquelle l'appel de l'air froid est déterminé dans les tubes par la hauteur de la colonne d'air chauffé ; avec des tubes horizontaux cet appel n'existe plus.

2519. L'appareil représenté dans les figures 638, 639, 640, 641, se compose d'une caisse en tôle A'A'CD, dont la face antérieure AA'BB' s'ajuste sur le chambranle de la cheminée; cette caisse est ouverte à la partie inférieure, et enveloppe le canal qui amène l'air extérieur. Sur la face antérieure est percée une ouverture L, par laquelle l'air extérieur échauffé se rend dans la chambre. Cette caisse en renferme une autre plus petite en fonte, *abcd* (*fig.* 641) et

Fig. 638.

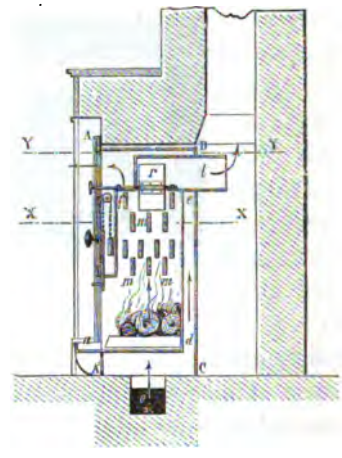


Fig. 639.

adef (*fig.* 639), qui sert de foyer; le tuyau *t*, muni du registre *r*, conduit l'air brûlé dans la cheminée. Les faces latérales de la caisse du foyer sont traversées par des plaques *m*, *m*, venues de fonte et qui se prolongent en dedans et en dehors. L'air extérieur arrive au-dessous du foyer par deux canaux *o*, *o*. Les orifices *p* servent à introduire dans l'appareil l'air de la pièce, quand la section du canal d'appel est trop petite. La figure 640 est une coupe YY; la figure 641, une coupe suivant XX.

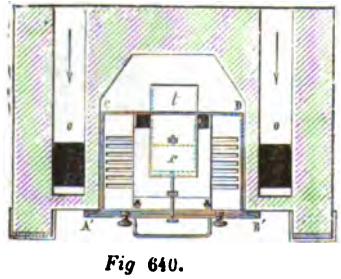


Fig 640.

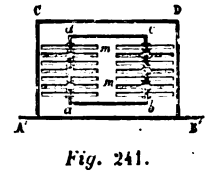


Fig. 241.

Cet appareil est assez compliqué, et la surface de chauffe de l'air

extérieur est faible. Il est à craindre, en outre, que les saillies en fonte ne produisent que peu d'effet; car les intervalles doivent s'obstruer rapidement par la suie, et le nettoyage n'est pas très-commode.

2520. Pour diminuer l'accès d'air inutile dans la cheminée, sans enlever la vue du feu, Descroizilles a imaginé de fermer la partie supérieure de l'ouverture des foyers découverts par un rideau en toile métallique très-fine, qui, appliqué aux foyers à bois et surtout aux foyers à houille, a donné de bons résultats. La figure 642 représente un foyer Descroizilles avec un appareil à chauffer l'air, placé derrière. Le foyer se compose d'une caisse en fonte, avec une grille en avant; un cadre en fonte, dans lequel se trouve la toile métallique T, peut tourner autour d'une charnière, et couvrir et découvrir le feu à volonté. L'air brûlé s'élève du foyer, redescend dans une caisse *abcd*, et s'écoule simultanément, à droite et à gauche, dans deux tuyaux A. Il passe successivement dans des tubes B, C, D, E, F, G, et aboutit enfin au tuyau H, qui communique avec la cheminée. Un système pareil de tubes est placé de l'autre côté de la caisse *abcd*.

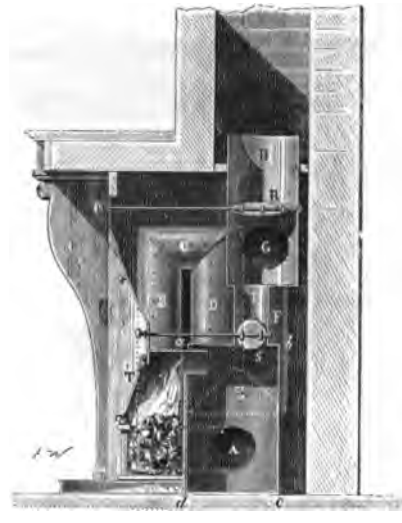


Fig. 642.

En ouvrant le registre S, on fait communiquer directement la caisse avec la cheminée par le tuyau I, ce qui permet d'établir facilement le tirage quand on allume le foyer. Le registre R sert à régler la combustion. L'air se chauffe au contact des tubes, et se dégage dans la pièce par des orifices ménagés au-dessous du linteau de la cheminée. Ces appareils chauffent assez économiquement; mais la toile métallique gêne toujours un peu la vue du feu, et se détruit souvent; de plus, le nettoyage des tuyaux est très-incommode, car il est nécessaire de les démonter complétement pour l'effectuer; il en est de même pour le ramonage. On a cherché à remplacer la toile métallique par des lames ou des tubes de verre, des lames de mica, afin de permettre de mieux voir le feu; mais la fragilité de ces matières les a fait abandonner.

2521. La cheminée de M. Fondet (*fig.* 643, 644, 645) se compose de deux tuyaux horizontaux, F et E, en fonte, réunis par un grand nombre de petits tubes prismatiques, *o*, *o*, *o*, disposés en quinconce, comme l'indique la figure 645. L'appareil forme le fond du foyer, et est incliné en avant de $\frac{1}{4}$ à $\frac{1}{5}$ d'angle droit. Le tuyau horizontal inférieur F communique avec l'air extérieur par le conduit AB ; celui-ci

Fig. 643.

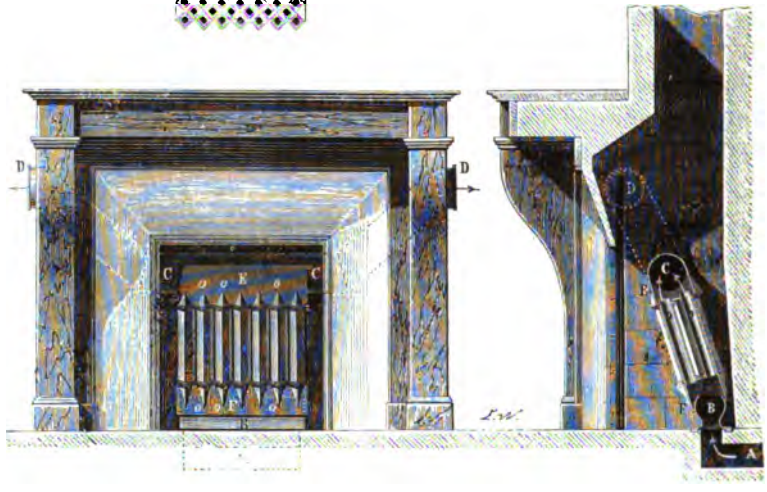


Fig. 644. *Fig.* 645.

vient se chauffer dans les tubes prismatiques autour desquels circule la flamme, et se rend par les tuyaux C, D, à deux bouches de chaleur D, D, situées sur les côtés de la cheminée. Le nettoyage s'opère au moyen d'une raclette que l'on passe dans les intervalles des tubes. Cet appareil, très-employé aujourd'hui à Paris, donne de bons résultats ; il exige seulement, comme on le voit, une construction spéciale dans l'intérieur des cheminées et un espace dont on ne dispose pas toujours ; il permet de faire varier l'accès de l'air neuf en mettant des registres aux bouches D, D ; en général, cet accès est, à cause de la trop petite section des débouchés, insuffisant pour donner une ventilation complète. Cet appareil présente quelques inconvénients au point de vue du ramonage qu'on ne peut faire qu'à la corde, car il bouche l'entrée de la cheminée ; la suie doit être extraite par une ouverture placée à la partie inférieure qu'on débouche pour le ramonage et qu'on rebouche ensuite.

2522. L'appareil de madame veuve Cordier et fils, constructeur à Sens (Yonne), est une modification de l'appareil Fondet, dont le but est de remédier à quelques-uns des inconvénients de celui-ci. Dans cet appareil, l'air à échauffer arrive sous une plaque sur laquelle se pose la grille, et s'élève entre les parois d'une boîte en fonte qui forme le fond du foyer; les deux arêtes longitudinales et supérieures de la boîte forment des rigoles dans lesquelles se placent les deux arêtes inférieures et longitudinales d'un appareil mobile formé de tubes disposés comme ceux de l'appareil Fondet; lorsque l'appareil est en place, le tuyau supérieur transversal s'ajuste au moyen de manchons mobiles sur les bouches de sortie; quand on veut ramoner, l'appareil mobile est rendu libre en faisant glisser les manchons, et on le relève contre le fond de la cheminée en le faisant tourner autour de son arête inférieure; le ramonage terminé, l'appareil mobile est remis en place. Les tuyaux verticaux de l'appareil Cordier ont une section un peu plus grande que ceux de l'appareil Fondet.

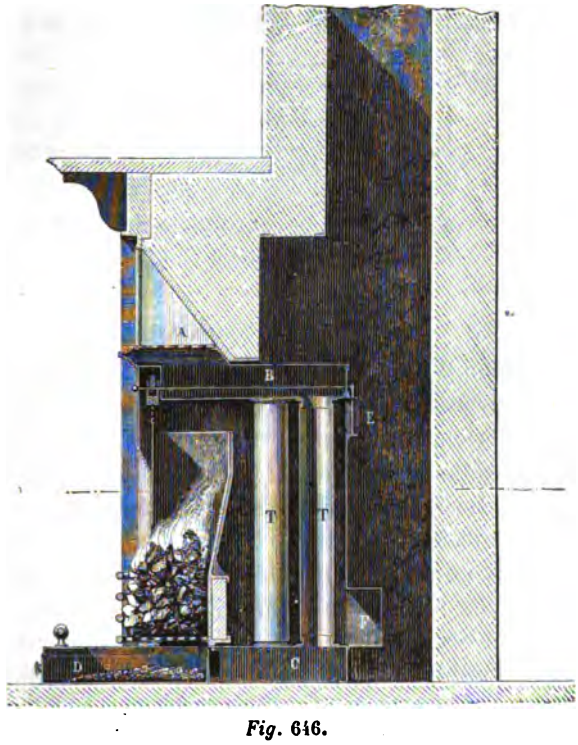


Fig. 646.

2523. L'appareil représenté (*fig.* 646 et 647) paraît mieux rem-

plir que les précédents les conditions d'un foyer d'appartement comme sections et surface de chauffe. Il se compose d'une caisse en tôle renfermant le foyer, derrière lequel se trouvent des tuyaux T disposés en quinconce, et qui établissent la communication entre une caisse inférieure à air froid C, et une caisse supérieure à air chaud B. Le foyer est séparé des tuyaux par une plaque de fonte qui peut s'enlever facilement pour le nettoyage. Le courant des gaz chauds sortant du foyer se recourbe par-dessus cette plaque, et vient, après avoir circulé en descendant autour des tubes, s'échapper dans la cheminée par une ouverture F placée au point le plus

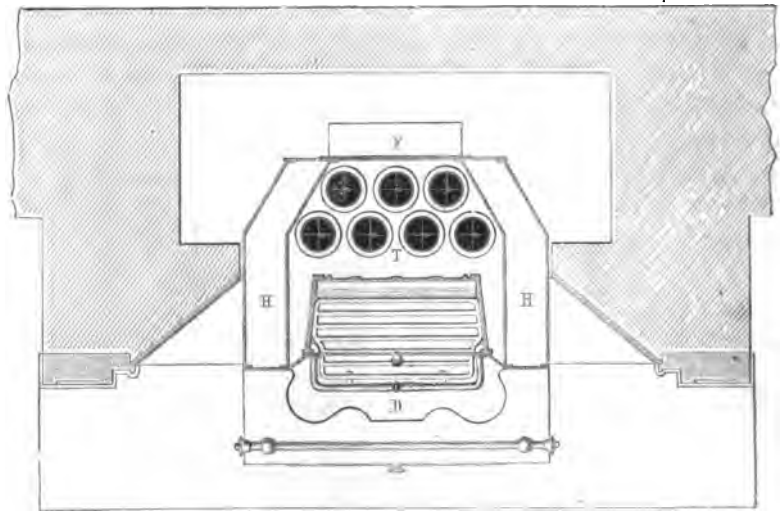


Fig. 647.

bas. Un orifice muni d'un registre sert à établir le tirage quand on allume le feu. L'air froid, venant de l'extérieur ou de la pièce, entre dans la caisse inférieure, s'échauffe dans les tuyaux en tôle et autour de la caisse à fumée en H, H, et vient se dégager dans l'appartement par une ouverture A pratiquée au sommet de la caisse à air chaud. Une plaque mobile permet de faire passer sur le combustible la proportion d'air qu'on juge convenable, tout en laissant visible une grande partie du feu. D est le cendrier. Cet appareil, construit par Péclet pour son usage personnel, est peu répandu. Il se place sans construction ni démolition dans une cheminée ordinaire, et, comme il peut s'enlever tout d'une pièce, il ne gêne nullement le ramonage, mais il a l'inconvénient de changer l'aspect auquel on est habitué pour les cheminées dans les appartements.

2524. Les différents appareils imaginés pour chauffer préalablement l'air neuf au moyen du feu fait dans la cheminée même, en les plaçant derrière l'âtre, sont généralement défectueux par leur insuffisance de section, aussi aucun d'eux ne fournit à une pièce la totalité de l'air que l'appel de la cheminée peut enlever. Il s'ensuit qu'ils ne suppriment pas les rentrées d'air par les joints des portes et des fenêtres, et qu'ils ne font que diminuer l'incommodité qui en résulte, souvent même dans une faible proportion.

Toutefois ces appareils procurent une meilleure utilisation du combustible que les cheminées où ils n'existent pas, mais les dimensions que l'on donne à nos cheminées d'appartement se prêtent peu à l'emploi de ces appareils réchauffeurs ; d'un autre côté, les maisons à trois, quatre et même cinq étages dans lesquelles on les installe sont sujettes à des tassements qui ne se manifestent pas toujours immédiatement après leur construction, il en résulte des dislocations dans ces combinaisons de tuyaux, des ruptures même, qui obligent à un renouvellement complet de l'appareil, quand les différentes pièces de l'appareil sont scellées dans les murs. D'un autre côté, le chauffage et le refroidissement successifs et fréquents des diverses parties de ces appareils amènent souvent des ruptures, des crevasses, etc. Il est donc important dans la construction de ces appareils de prévoir les effets de ces mouvements et de la dilatation, et dans tous les cas de rendre les réparations faciles et peu onéreuses. Telles sont les différentes raisons qui font que les cheminées disposées de façon à chauffer l'air neuf ne sont pas aussi répandues qu'elles devraient l'être.

Ce sont aussi les mêmes considérations qui ont mené à rechercher des systèmes d'installation très-simple permettant l'emploi de sections suffisantes d'arrivée d'air, c'est le cas de la cheminée Mousseron et de la cheminée Joly.

2525. *Foyer Mousseron.* — Ce foyer a surtout pour but d'éviter les rentrées de fumée au moment de l'allumage ; il se compose d'une coquille en fonte ouverte à l'avant et portant une grille à une très-petite distance du sol; la coquille porte à la partie supérieure un tuyau qui se rend dans la cheminée; celle-ci doit être fermée autour du tuyau ; à la partie inférieure de la coquille et à la hauteur de la grille se trouve une autre ouverture qui communique, par un ou plusieurs tuyaux venus de fonte sur la coquille et placés derrière elle, avec le tuyau supérieur ; par ce moyen, au moment de l'allumage le courant ascendant se produit immédiatement dans les tuyaux pla-

cés derrière la coquille, les gaz chauds s'engouffrent dans l'orifice placé au niveau de la grille ; ce courant d'air chaud se rend dans la cheminée et commence le tirage qui s'accomplit ensuite simultanément par les deux orifices de la coquille, mais principalement par l'orifice supérieur ; de sorte que le foyer Mousseron est à flamme renversée pendant l'allumage et à flamme droite quand cette opération est terminée.

Cette coquille peut se placer dans toute espèce de cheminée, on ferme l'avant de la cheminée dans toute la partie qui entoure la coquille par un grillage en fonte. L'air neuf arrive dans la capacité qui entoure la coquille, se chauffe au contact de celle-ci et sort par les ouvertures du grillage. On peut faire fonctionner l'appareil comme calorifère en bouchant complétement par une plaque de tôle l'ouverture que laisse la coquille dans la cheminée, et en mettant, par un tuyau, la chambre d'air chaud qui entoure la coquille en communication avec la pièce à chauffer.

2526. Le foyer Joly, représenté figure 648 et 469 est construit par MM Geneste fils et Herscher frères ; il se compose d'une enveloppe en fonte occupant les trois faces de l'âtre et ayant en section hori-

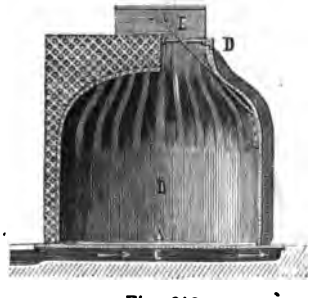


Fig. 648.

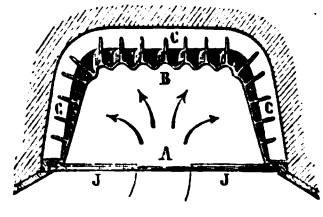


Fig. 649.

zontale la forme d'un trapèze dont les angles sont arrondis ; les trois faces se réunissent à la partie supérieure, en se rétrécissant, et y réservent un orifice rectangulaire pour le départ de la fumée. Cet orifice communique soit directement à la cheminée, soit à un coffre ou tambour supérieur muni de chicanes mobiles destinées à former une surface de chauffe utilisable. Cette dernière disposition est représentée en coupe dans la figure 650. La partie supérieure du coffre en fonte formant le foyer proprement dit est munie de cannelures destinées à augmenter la surface de chauffe, et la partie extérieure de la coquille est munie de nervures qui non-seulement augmentent la

surface de chauffe, mais encore ont l'avantage d'abaisser la température de la surface en contact avec l'air neuf (1840), ce qui est une condition utile au point de vue de l'hygiène. Le conduit d'air neuf établi dans le plancher est de large section et débouche dans la partie qui entoure la coquille. L'appareil est muni d'une trappe mobile qui permet de régler le tirage. Cette disposition nous paraît

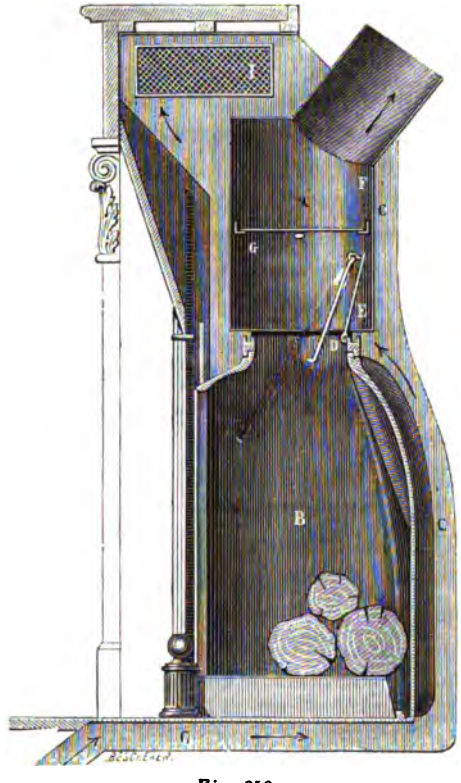


Fig. 650.

la plus simple et la plus efficace de toutes celles dans lesquelles on se préoccupe de chauffer l'air de la ventilation au moyen des cheminées d'appartement.

M. Geneste fils et Herscher frères ont combiné l'emploi de la cheminée Joly et de la disposition de la figure 633 pour le chauffage et la ventilation des casemates dans plusieurs des forts nouvellement construits autour de Paris.

2527. *Observations sur les cheminées d'appartement.* — Nous venons de passer en revue les principaux perfectionnements essayés

depuis Rumfort pour les cheminées d'appartement. Tous ont porté soit sur des modifications de détail à la cheminée de Lhomond, soit sur les moyens d'obtenir du combustible un plus grand effet utile.

Comme nous l'avons déjà vu, le rendement des cheminées d'appartement est très-faible ; les dispositions proposées pour l'augmenter peuvent se ranger en deux classes.

Dans la première, on a eu pour but d'augmenter la chaleur rayonnée dans l'appartement, et pour cela on a avancé le foyer dans la pièce. La cheminée de M. Bronzac (2508) peut être prise pour type de ce système. On est arrivé ainsi à utiliser environ deux fois plus de chaleur que dans les cheminées ordinaires de Lhomond.

Dans la seconde classe, on a cherché à tirer parti de la chaleur emportée par la fumée, et pour cela on a disposé à la suite du foyer des appareils calorifères plus ou moins simples. Les cheminées décrites n°s 2515 et suivants rentrent dans cette classe. L'effet utile obtenu a été encore plus considérable, mais il reste limité par la condition de laisser le foyer visible. Il s'introduit ainsi dans la cheminée un volume d'air qui ne sert pas à la combustion, et qui, refroidissant la fumée, diminue beaucoup l'effet des calorifères.

2528. *Cheminées qui fument.* — Les foyers découverts, tels qu'on les construit ordinairement, laissent souvent dégager de la fumée dans les appartements. Les causes qui font fumer les cheminées, et les moyens d'y remédier, ont été décrits avec beaucoup de précision par Franklin ; nous les exposerons sommairement d'après lui, en faisant quelques additions.

2529. La première cause de production de la fumée est le défaut de ventilation ou seulement la difficulté de l'introduction de l'air extérieur dans l'appartement. Il est évident qu'il doit entrer dans la pièce un volume d'air égal à celui qui s'élève dans la cheminée ; par conséquent, si la pièce est exactement fermée, la fumée, ne pouvant pas sortir sans y produire un vide partiel, se répandra dans l'appartement. Il arrive presque toujours qu'une certaine quantité de fumée monte dans la cheminée ; cet effet provient d'un double courant qui s'établit dans le canal ; l'air extérieur descend dans l'appartement par une partie de la cheminée, tandis que la fumée s'élève par l'autre ; mais, ces deux courants n'étant point séparés, le courant descendant entraîne toujours avec lui une certaine quantité de fumée qui se répand dans la pièce.

Cette cause aura évidemment une influence d'autant plus grande que l'appartement sera plus petit, que les portes et fenêtres join-

dront plus exactement et que le diamètre de la cheminée sera plus considérable.

Quand la fumée est produite par la cause que je viens de signaler, on peut y remédier, 1° en diminuant la quantité d'air qui s'écoule par la cheminée ; 2° en favorisant la ventilation extérieure ; 3° par l'un et l'autre de ces moyens. On diminuera toujours la dépense d'air par la cheminée en rétrécissant l'un des deux orifices, d'introduction ou de sortie ; mais on devra choisir de préférence celui qui donne accès à l'air pour la combustion.

Quant à la ventilation extérieure, on pourra l'établir, soit au moyen d'un vasistas, soit par une ventouse, soit enfin par un canal placé sous le parquet. On pourra chauffer l'air appelé ou le laisser entrer à la température extérieure. Cette cause de dégagement de fumée est la plus générale ; j'ai rarement vu d'appartements dans lesquels les appels d'air extérieur aient des dimensions suffisantes.

2530. La seconde cause du dégagement de la fumée réside dans une température trop faible de l'air brûlé dans la cheminée. La vitesse du courant n'est plus suffisante pour évacuer la fumée qui se dégage, et il en reflue une partie dans l'appartement. Cette faible température résulte de ce qu'une très-grande quantité d'air échappe à la combustion et refroidit la fumée.

Le seul remède efficace consiste dans le rétrécissement permanent du foyer, latéralement et supérieurement, et dans l'emploi d'un tablier mobile. On diminue ainsi le volume d'air inutile à la combustion.

2531. La troisième cause provient d'une trop faible hauteur de la cheminée, d'où résulte une trop petite vitesse d'ascension de la fumée. Il faut alors exhausser la cheminée, ou, si c'est trop difficile, rétrécir le foyer.

2532. La quatrième cause du dégagement de la fumée résulte de l'action de plusieurs foyers les uns sur les autres, lorsqu'ils sont placés dans des appartements communiquants, et n'ayant aucun mode de ventilation convenablement établi.

Si, plusieurs foyers étant disposés comme nous venons de le dire, on fait du feu dans un seul, l'air extérieur sera principalement appelé par les autres cheminées, attendu que l'air pénètre bien plus facilement et en bien plus grand volume par les cheminées que par les fissures des portes et des fenêtres. Si tous sont allumés et que les orifices d'entrée de l'air ne soient pas suffisants pour les alimenter tous, il arrivera nécessairement que celui dont le tirage est le plus

fort l'emportera sur les autres, et par conséquent que la fumée de ces derniers se répandra dans toutes les pièces. Un quelconque des foyers peut même faire fumer tous les autres, quoiqu'il ait un tirage plus faible, soit par une moindre hauteur de la cheminée, soit par un plus grand diamètre du canal, soit enfin parce que la quantité de combustible que l'on y consomme est moindre ; il suffit, pour cela, que ce foyer ait été allumé le premier, car, dans ce cas, l'air a dans les autres cheminées un mouvement de haut en bas, qui ne peut que difficilement être détruit, attendu que le tirage d'une cheminée n'est à son maximum que quand tout le tuyau est rempli d'air chaud : par conséquent, si, à l'origine, il y a déjà un mouvement de l'air en sens contraire, il faudra un foyer d'une grande activité, et une vitesse presque nulle de l'air de haut en bas, pour que le tirage puisse s'établir.

Le seul moyen de remédier alors à la fumée consiste à donner à chaque pièce une ventilation suffisante.

2533. La cinquième cause du dégagement de la fumée consiste dans la communication de plusieurs tuyaux de cheminée les uns avec les autres. Lorsqu'un tuyau d'un diamètre uniforme reçoit à une certaine hauteur un canal qui le pénètre, si le courant s'établit d'abord dans le dernier, la veine d'air qui en sort peut fermer l'autre comme une soupape. Il faut alors placer au-dessous de l'ouverture une plaque, afin que le tirage se partage également entre les deux conduits.

Lorsque plusieurs cheminées communiquent, et que les tuyaux ont des diamètres convenables, l'appel a lieu par tous les embranchements, qu'ils fournissent ou non de l'air chaud. Il en résulte que si plusieurs ne donnent que de l'air froid, la température de l'air dans le canal commun est peu élevée, et par conséquent que le tirage dans chaque conduit d'air chaud excède peu celui qui aurait lieu si ce conduit débouchait dans l'air; ainsi il se dégage de la fumée parce que la hauteur réelle de la cheminée est trop faible. Cette disposition est aussi très-favorable au refoulement de la fumée dans les pièces où l'on ne fait pas de feu, parce que, la vitesse se trouvant très-réduite dans le canal commun, un grand nombre de circonstances peuvent produire un courant de haut en bas dans les cheminées sans feu. On peut remédier au dernier inconvénient en établissant dans les cheminées des trappes ou registres que l'on ferme quand on n'y fait pas de feu ; mais il faut pour cela que ces trappes ferment hermétiquement; et il n'y en a pas parmi celles qu'on

emploie ordinairement qui jouissent de cette propriété ; ces trappes diminuent beaucoup les chances de fumée dans les pièces où l'on fait du feu parce qu'il n'y a plus d'air froid dans la cheminée commune. C'est en se fondant sur ces principes que MM. Mousseron et Allard ont réalisé ce qu'ils ont appelé les *tuyaux unitaires*, qui consistent dans une gaîne unique, dont la section est de $0^m,93$ pour six cheminées et qui s'élève dans toute la hauteur de la maison ; cette gaîne part du rez-de-chaussée où elle communique avec l'extérieur au moyen d'une ouverture fermée par un guichet en tôle. Le ramonage se fait en une fois sans qu'il en résulte aucun dérangement dans les appartements. On rencontre de rares exemples de ces tuyaux unitaires dans les maisons construites à Paris, il y a une quinzaine d'années ; on comprend que pour adopter la gaîne unique allant verticalement du haut en bas de la maison, il faut avoir à construire la maison elle-même ; encore est-il impossible de n'avoir qu'une seule grande gaîne dans une maison formée d'un seul corps de bâtiment, car il faut qu'à chaque étage les cheminées puissent gagner la gaîne par un embranchement fort court ; aussi est-il bien difficile qu'une seule gaîne desserve plus de deux cheminées accolées par étage. Les branchements, s'ils ne sont pas très-courts, sont difficiles à ramoner ; ils pourraient causer un feu de cheminée qui se propagerait à toutes les cheminées desservies par la même gaîne. Il faut à chaque embranchement un registre pour régler le feu, et il faut que ce registre ferme hermétiquement pour empêcher le retour de fumée. Ces retours de fumée ne sont pas seulement désagréables ; ils peuvent être très-dangereux et devenir une cause d'asphyxie. Il peut enfin résulter de l'emploi de cette gaîne unique qu'il s'établira entre les divers étages une communication de bruits et même de paroles.

Ces diverses considérations ont empêché ce système, qui d'ailleurs est plus économique que celui des cheminées multiples, de se répandre lors de la reconstruction de Paris.

Les règlements de police n'ont pas autorisé ce système, malgré les demandes de l'inventeur, et quoiqu'il n'y ait pas à demander d'autorisation à la police pour l'établissement des cheminées de tel ou tel système, et que même aucun service de surveillance ou de contrôle n'existe pour vérifier les conditions dans lesquelles les cheminées sont établies, il ne faut pas oublier qu'il peut résulter de la négligence des règlements, une responsabilité qui dans le cas d'incendie peut être fort grave pour le propriétaire. On fera donc bien,

dans tous les cas, de donner dans les habitations un tuyau spécial à chaque cheminée.

2534. La sixième cause qui fait fumer les cheminées réside dans l'action du soleil et des vents directs ou réfléchis : il faut alors avoir recours aux appareils que nous avons décrits dans le premier volume.

2535. Une dernière cause peut faire pénétrer de la fumée dans les appartements. Dans les grands calorifères, le tirage de la cheminée à air brûlé étant toujours beaucoup plus actif que l'appel par la cheminée d'écoulement de l'air échauffé, il n'est pas nécessaire que les joints soient étanches, car la différence des tirages produit des pressions latérales qui font passer de l'air échauffé dans l'air brûlé ; il en résulte bien une perte de combustible, mais il n'y a pas de dégagement de fumée dans les pièces. Dans les appareils formant calorifères qui se trouvent au-dessus ou autour des foyers découverts et qui sont destinés à utiliser une partie de la chaleur de l'air brûlé, il n'en est pas toujours ainsi. Si l'ouverture du foyer était considérable et si les tuyaux de chauffage de l'air étaient placés dans un lieu où la vitesse d'écoulement de l'air brûlé fût très-faible, il pourrait arriver que la vitesse d'écoulement de l'air échauffé fût plus grande, et par conséquent que si les tuyaux n'étaient pas étanches, l'air brûlé pénétrât dans les tuyaux d'écoulement de l'air chaud. Ces circonstances se présentent rarement, mais il est toujours important dans toutes les dispositions de rendre les joints aussi hermétiques que possible, car le mélange de l'air brûlé, même en petite quantité, avec l'air de ventilation, a de graves inconvénients.

2536. Les cheminées d'appartement servent non-seulement au chauffage, mais aussi à la ventilation ; on peut même, dans beaucoup de cas, obtenir des cheminées une ventilation naturelle des lieux où elles sont placées, alors qu'on n'y fait pas de feu. Nous rapporterons les résultats de quelques expériences faites par M. le général Morin, sur la quantité d'air que débite une gaîne de cheminée d'appartement quand on n'y fait pas de feu ; elles donnent un aperçu de la ventilation qu'on peut obtenir par des cheminées.

La cheminée expérimentée est celle du cabinet du directeur du Conservatoire des arts-et-métiers, pièce isolée et située au rez-de-chaussée ; la hauteur de la gaîne était de 20^{m},30, et les poteries qui la constituaient à partir du plafond avaient 0^{m},30 sur 0^{m},30, ce qui en déduisant les arrondis des angles lui donnait une section de 0^{m}.0868 ; en octobre 1861, alors que la température extérieure

était de 10°,8 et la température intérieure de 22°, une expérience donnait un écoulement de 357^{mc} d'air dans une heure sans chauffage et par simple ventilation naturelle ; la température à l'intérieur de la cheminée était supposée la même que celle de la pièce. En novembre, dans une autre expérience, alors que la température extérieure était de 1°,8 et la température intérieure de 15°, le volume évacué s'est élevé à 446^{mc} par heure, la vitesse moyenne de l'air dans la gaîne a été de 0^{m},40 à 0^{m},50, l'air affluant par les joints des portes et des fenêtres et par la bouche de chaleur d'un calorifère de cave d'une section de 0^{m},03. Ces expériences mettent en lumière l'influence de la ventilation naturelle, mais on sait que celle-ci est inégale et capricieuse, fort variable suivant la différence de température entre l'extérieur et l'intérieur d'une habitation, différence qui est loin d'être constamment de 11°,2 à 13°,2.

Les chiffres qui précèdent, obtenus dans des conditions particulières, ne sauraient fournir de règle pour établir la ventilation d'un appartement composé de plusieurs pièces dont les cheminées sont en communication permanente entre elles par les joints des portes ; ces cheminées s'influencent réciproquement et on a trop souvent à se plaindre de l'odeur de suie qui se répand dans les pièces par les courants descendants qui s'établissent dans certaines de ces cheminées où il n'y a pas de feu. C'est pour obvier à cette incommodité que l'on place dans les cheminées d'appartement des trappes que l'on tient fermées en été aussi bien qu'en hiver lorsque l'on ne fait pas de feu ; mais ces trappes ne ferment pas assez pour empêcher toute communication d'une pièce à une autre. Quant aux quantités d'air évacuées, nous remarquerons que le cabinet en question est isolé, qu'il a une haute cheminée d'appel, d'une section supérieure à celle de la plupart des cheminées des maisons modernes et que de semblables résultats ne seraient pas obtenus avec des cheminées d'un deuxième ou d'un troisième étage et des gaînes d'une moindre section.

On sait que lorsqu'on ne fait pas de feu dans une cheminée alors que la température extérieure est plus élevée que la température intérieure, il se fait un courant descendant et que ce courant est tantôt dans un sens et tantôt dans l'autre, probablement par suite d'action extérieure par le sommet de la cheminée, quand la différence des deux températures est faible.

2537. On ne saurait donc considérer la ventilation naturelle comme établie d'une manière saine et certaine dans nos appartements par

suite de l'existence des cheminées. Pour obtenir un semblable résultat, il faudrait établir, à la base de leur gaîne, un petit foyer d'appel qu'il serait commode de créer avec des becs de gaz, parce qu'alors il n'exigerait que peu de surveillance. Il faudrait aussi avoir des accès d'air extérieur d'une section suffisante, disposés plus commodément que les joints des portes et des fenêtres. La ventilation au gaz d'éclairage n'est guère applicable dans nos appartements qu'autant qu'une conduite y est déjà installée, soit pour le chauffage, soit pour l'éclairage.

Quoique le gaz soit un combustible cher, on peut cependant songer à s'en servir l'été comme foyer d'appel dans certains édifices publics occupés d'une façon non continue, à cause du peu de surveillance qu'il exige.

On a songé, il y a longtemps, à faire de petits foyers d'appel avec des becs à l'huile ; des becs au pétrole seraient moins coûteux et parfois moins coûteux que le gaz même quand il n'y a pas déjà de canalisation établie pour l'éclairage.

2538. Pendant l'expérimentation précitée, M. le général Morin appréciait le volume d'air qui rentrait par les joints des portes et des fenêtres dans le cabinet, la cheminée étant toujours sans feu. Pour un développement de joints de $20^{m},30$ aux deux fenêtres et de $21^{m},16$ aux deux portes, soit un total de $41^{m},46$, la rentrée d'air a été de 246 mètres cubes à l'heure, soit $5^{mc},92$ en moyenne par mètre courant de joint ; mais il s'en faut que ces joints offrent une section uniforme, de sorte qu'en bien des places la moyenne donnée est fort dépassée, tandis que dans d'autres, elle n'est pas atteinte.

2539. Une expérience analogue a été faite sur la même cheminée en y brûlant du bois ; mais après que les coffres unissant le foyer à la poterie eurent été régularisés afin de diminuer la contraction à l'entrée de l'air et que l'appareil Fondet qui garnissait la cheminée eut été enlevé. La température extérieure étant de 15° et celle du cabinet de 19°, celle dans la gaîne de la cheminée de 90°, le volume total écoulé a été de 1268 mètres cubes à l'heure en brûlant $7^{k},83$ de bois, la vitesse de l'air dans la gaîne était de $5^{m},04$. Une seconde expérience avec 8° à l'extérieur et 18° à l'intérieur, 107° dans la gaîne a donné 1365 mètres cubes en consommant à l'heure $8^{k},36$ de bois, la vitesse de l'air était de $5^{m},07$; une troisième expérience exécutée dans le cabinet du sous-directeur, situé aussi au rez-de-chaussée a donné pour une température de 22° à l'extérieur, 24° à l'intérieur et 127° dans la gaîne une évacuation de 835 mètres cubes par heure

en brûlant $8^k,88$ de bois ; un appareil Fondet existait dans cette cheminée et la mesure directe de l'air fourni par sa bouche de chaleur a été de 19 mètres cubes par heure. L'appel total correspondait à 94 mètres cubes par kilogramme de bois. L'expérience sur cette dernière cheminée qui se rapproche plus que les précédentes des conditions ordinaires, nous montre que le chiffre de 100 mètres cubes d'air appelé par kilogramme de bois brûlé par heure, posé depuis longtemps par Péclet et consigné n° 2503, est bien suffisant pour répondre à la réalité dans la plupart des cas.

2540. Les expériences sur la cheminée du cabinet du général, dans lesquelles on brûlait en moyenne 4 kilogrammes de houille à l'heure, ont donné une évacuation de 1200 mètres cubes par heure, la température dans la gaîne de la cheminée dépassant toujours 100°.

2541. Les expériences en pareille matière sont tellement sujettes à donner des résultats différents suivant les lieux et les circonstances, qu'elles devraient être fort répétées, afin de fournir des chiffres dont la concordance permettrait alors de poser des règles sûres.

On est donc obligé de se contenter d'approximations et de se régler sur le chiffre du minimum connu, plutôt que sur celui du maximum.

Chauffage intérieur par les poêles.

2542. Les poêles sont des appareils placés dans l'intérieur des appartements, formant une capacité plus ou moins considérable dans laquelle on brûle le combustible. La fumée se rend à la sortie du foyer, soit directement, soit après diverses circulations, dans un tuyau qui la conduit dans une cheminée. Les portes du foyer et du cendrier sont tantôt dans l'appartement, tantôt dans une salle voisine. Les poêles sont en tôle, en fonte, en faïence ou en briques.

2543. On donne souvent aux poêles le nom de calorifères ; mais nous réserverons cette dernière dénomination pour les appareils qui servent à chauffer de l'air pris à l'extérieur, et qui le versent ensuite dans les pièces destinés à le recevoir.

2544. Les poêles en métal, pour la même étendue de surface et la même quantité de combustible brûlé, refroidissent plus la fumée que ceux qui sont en faïence ou en maçonnerie, parce que les métaux conduisent mieux la chaleur : ainsi les poêles en terre cuite doivent avoir plus de volume et plus de surface de chauffe que ceux en métal.

2545. Les poêles en métal s'échauffent rapidement et se refroidissent de même ; ceux de maçonnerie et de faïence, au contraire, s'échauffent lentement ; mais, une fois échauffés, ils cèdent lentement leur chaleur et entretiennent longtemps une douce température.

2546. Dans les poêles en métal, il est avantageux que la combustion soit lente et permanente. Dans les poêles en terre cuite, il est bon qu'elle soit vive, et ne dure que le temps nécessaire pour échauffer la masse de maçonnerie, opération qu'on renouvelle à des intervalles plus ou moins éloignés. Dans ces derniers appareils, quand le combustible est consumé, il est utile de fermer la porte du cendrier, et un registre placé dans le tuyau à fumée, afin d'éviter que le poêle ne soit traversé par un courant d'air qui le refroidirait infructueusement.

2547. On prétend que les poêles en fonte ou en tôle ont l'inconvénient de donner à l'air une mauvaise odeur et de le dessécher. L'odeur de l'air chauffé par un métal provient probablement de l'altération qu'éprouvent les matières organiques en suspension dans l'air, par le contact du métal dont la température est souvent très-élevée, et toujours supérieure, pour la même quantité de combustible consommé, à celle que prennent les parois d'un poêle en faïence ou en briques. Il est facile de s'assurer qu'il existe en effet dans l'air une grande quantité de corps légers, non-seulement par les dépôts qui se forment sur les surfaces qui restent longtemps immobiles, mais par la vue de cette poussière, quand un rayon solaire pénètre dans une chambre obscure ; la poussière est alors fortement éclairée, et le seul aspect indique une origine organique. Cependant quelques expériences sembleraient indiquer que les métaux chauffés ont une odeur propre. Nous avons étudié n° 1859 les inconvénients propres aux surfaces métalliques chauffées.

Quant à la dessiccation de l'air, on n'a jamais fait aucune expérience exacte à ce sujet ; mais tout le monde sait que l'on est dans l'usage de mettre sur les poêles en fonte des vases pleins d'eau, pour fournir de la vapeur à l'air, et que les poêles en faïence rendent cette précaution moins nécessaire. Chacun a pu observer que les poêles en fonte, indépendamment de l'odeur qu'ils donnent à l'air, provoquent des maux de tête, quand on n'emploie pas le moyen que nous venons d'indiquer pour saturer l'air d'humidité. Mais la dessiccation de l'air par les poêles métalliques n'est qu'apparente ; l'air ne paraît plus sec que parce qu'étant plus chaud, il peut dissoudre plus de

vapeur, et par conséquent qu'il est d'autant plus éloigné du terme de saturation qu'il est à une température plus élevée. Si les poêles en faïence ou en briques ne paraissent pas produire le même effet, cela tient à ce qu'ils n'échauffent pas l'air au même degré. Au surplus, quand on considère que dans une grande partie de l'Europe, on a l'habitude de se chauffer avec des poêles de fonte, ou de tôle, on peut difficilement croire que leur usage soit réellement insalubre.

En résumé, je ne regarde pas en général le chauffage par les surfaces métalliques comme insalubre si le métal n'est pas trop échauffé; il peut devenir incommode, parce que la température du métal est quelquefois très-variable, et il peut donner une odeur désagréable, et dessécher trop fortement l'air, quand le métal est à une trop haute température; mais on peut éviter tous ces inconvénients, comme nous l'avons déjà dit en parlant des calorifères.

2548. *Poêles simples sans circulation intérieure, et sans tuyaux de circulation.* — Ces poêles sont ceux qu'on emploie le plus fréquemment; ils sont construits en fonte ou en tôle, et ce n'est guère que dans les villes qu'ils sont en faïence. Dans ces appareils, le corps du poêle ne renferme que le foyer, et rarement la surface de chauffe est suffisante pour absorber une partie considérable de la chaleur du foyer ou de la fumée, surtout dans ceux de faïence, parce que cette matière n'étant employée que pour obtenir une chaleur modérée, et pour éviter les inconvénients du chauffage avec la tôle et la fonte, on cherche souvent à diminuer, autant que possible, les tuyaux extérieurs à fumée. Aussi ces derniers consomment beaucoup de combustible et chauffent peu, parce que la fumée est abandonnée à une trop haute température. Mais comme, dans tous ces poêles, le tirage a lieu dans la partie du tuyau qui s'élève verticalement, les gaz brûlés pourraient être complétement refroidis, si on prolongeait suffisamment le circuit horizontal.

Quand on brûle du bois, de la tourbe, de la houille, du coke dans les poêles, les foyers n'exigent aucune disposition particulière; seulement il est toujours avantageux d'employer des grilles, et de faire arriver l'air en dessous, ce qui ne se fait pas toujours. Mais quand on brûle de l'anthracite, les foyers doivent être disposés d'une manière spéciale que nous indiquerons en parlant des poêles américains.

2549. *Poêles en terre cuite et à circulation intérieure.* — Ces poêles sont principalement employés dans le Nord, en Suède, et surtout en

Russie. Dans ce dernier pays, les poêles ont de très-grandes dimensions, et se construisent en même temps que les maisons. Ce sont des masses rectangulaires, allongées verticalement, presque entièrement en briques, percées de canaux verticaux, que l'air brûlé parcourt plusieurs fois de bas en haut et de haut en bas. Ces poêles ont ordinairement de 2 à 3 mètres de hauteur, et occupent une surface horizontale de $1^{mq},25$. Le foyer est à la partie inférieure, et sa capacité varie de $0^{mc},05$, à $0^{mc},10$. L'air brûlé, après avoir circulé dans des canaux intérieurs verticaux, successivement en sens contraire, s'écoule ensuite dans la cheminée. On fait un feu très-actif le matin, et lorsque le bois est complétement transformé en braise, on ferme la porte du foyer, et presque complétement le registre de la cheminée. Ces masses échauffées se refroidissent lentement et maintiennent une température douce dans les pièces pendant vingt-quatre heures.

En Suède, on emploie des appareils analogues, mais dont les dimensions sont beaucoup plus faibles. Les figures 651, 652, 653, 654, 655, 656 représentent un de ces appareils.

Fig. 651. *Fig.* 652. *Fig.* 653.

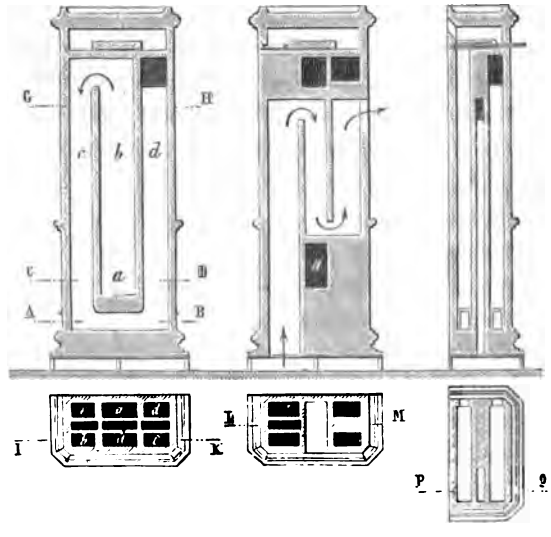


Fig. 654. *Fig.* 655. *Fig.* 656.

La figure 651 est une coupe verticale suivant IK (*fig.* 654); la figure 652, une coupe verticale suivant LM (*fig.* 655); la figure 653,

une coupe verticale suivant PQ (*fig.* 656). Les figures 654, 655, 656 sont des coupes horizontales faites suivant les plans GH, CD, et AB (*fig.* 651). Les circulations centrales, représentées dans la figure 652, sont destinées à chauffer de l'air qui entre dans le poêle par la partie inférieure. Le foyer est en *a*, l'air brûlé parcourt simultanément les deux séries de canaux *b*, *c*, *d*, *e*, qui se trouvent de chaque côté des canaux à air; puis les deux courants se réunissent en un seul qui communique avec la cheminée.

Dans tous ces appareils, les circulations ont toujours lieu dans des canaux verticaux et non horizontaux, parce qu'on a trouvé, par expérience, que le tirage s'établit plus vite dans la première disposition que dans la seconde. L'explication en est d'ailleurs facile. Au commencement du chauffage, lorsque les briques sont froides, le courant d'air brûlé se refroidit peu, du moins dans sa partie centrale, lorsqu'il s'élève d'abord, tandis qu'il n'en est point ainsi quand il marche dans des canaux horizontaux. C'est d'ailleurs ce que j'ai constaté dans deux poêles où les circuits étaient horizontaux dans l'un et verticaux dans l'autre : le premier fumait toujours quand on l'allumait; et, dans le second, le tirage était très-bon dès les premiers instants.

2550. *Poêles en briques et en fonte, à bouches de chaleur.* — Ces poêles (*fig.* 657) sont très-répandus en France ; ils sont principalement employés dans les salles à manger.

Ordinairement le foyer est environné de tuyaux en fonte, qui s'ouvrent d'un côté au-dessous du poêle, et de l'autre dans une cage en briques, où se réunit l'air échauffé dans les tuyaux, et d'où il s'écoule dans la pièce par des orifices désignés sous le nom de bouches de chaleur ; l'air brûlé, en sortant du foyer par les intervalles des tuyaux de fonte, circule dans la masse de terre cuite, en montant et descendant un certain nombre de fois avant de se rendre dans la cheminée. Ces appareils sont en général assez mal disposés ; la combustion n'a pas lieu complétement sur la grille ; il y a beaucoup de chaleur perdue, résultant de ce que l'air brûlé est abandonné à une trop haute température, et les bouches de chaleur sont en général beaucoup trop petites.

Fig. 657.

2551. Une disposition qui serait bien préférable à celle qui est généralement employée, consisterait à placer autour du foyer une série de canaux verticaux que l'air brûlé parcourrait successivement : chacun d'eux renfermerait un tuyau de fonte ; et tous ces tuyaux seraient maintenus par des talons appuyés sur les bords d'orifices circulaires pratiqués dans deux plaques de fonte parallèles : la plaque supérieure formerait la partie inférieure du réservoir d'air chaud qui alimenterait les bouches de chaleur. Il serait même plus simple et plus commode de laisser descendre librement la fumée autour des tuyaux de fonte, et de la faire écouler dans la cheminée par la partie inférieure de la caisse, qui pourrait être en tôle, en fonte, ou en maçonnerie.

2552. Ces poêles, en faïence et à circulation de fumée, sont quelquefois isolés au milieu des pièces qu'ils doivent chauffer ; alors le tuyau à fumée chemine sous le sol pour se rendre à la cheminée. Dans cette disposition, il faut nécessairement que la cheminée soit pourvue, à sa partie inférieure, d'un petit foyer pour déterminer le tirage. Ce foyer se réduit le plus souvent à une ouverture munie d'une porte

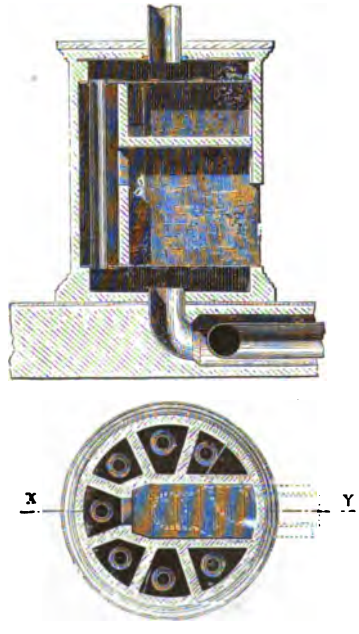


Fig. 658 *et* 659.

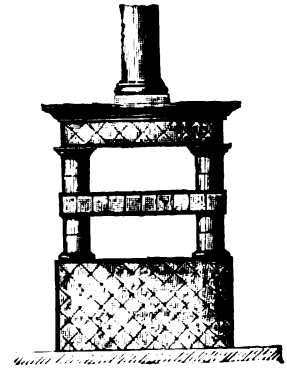


Fig. 660.

qui permet de brûler quelques copeaux ou du papier dont la flamme détermine l'appel.

Les figures 658 et 659 représentent une coupe verticale et une coupe horizontale d'un poêle isolé, disposé comme je viens de l'in-

diquer ; le tuyau à air brûlé est placé dans le tuyau d'appel de l'air extérieur, ce qui n'a pas lieu ordinairement, mais ce qui doit augmenter l'effet utile.

2553. On emploie souvent, dans les hôpitaux, des poêles (*fig.* 660) renfermant plusieurs bains de sable superposés, destinés à chauffer ou à tenir chauds les médicaments. Les bains de sable forment les parties supérieures de caisses en tôle qui sont parcourues successivement par l'air brûlé, sorti d'un foyer placé à la partie inférieure de l'appareil.

2554. *Poêles américains à anthracite.* — Ces appareils n'ont été connus en France que par la description qui en a été donnée par M. Chevalier, dans le *Journal d'Architecture.* Dans la seconde édition du *Traité de la chaleur*, j'ai rapporté cette description et les détails de construction qui l'accompagnent. Mais comme ces dispositions peuvent être modifiées de bien des manières différentes, je me bornerai à indiquer les conditions à remplir, et comment elles l'ont été dans les poêles le plus généralement employés.

Les conditions à remplir sont : 1° de maintenir le foyer à une température élevée en l'environnant de briques, au moins de trois côtés ; 2° d'alimenter le foyer sans le refroidir, conditions qu'on remplit en introduisant les combustibles par la partie supérieure du poêle ; 3° de pouvoir facilement dégager les cendres, sans donner accès à une trop grande quantité d'air qui éteindrait le foyer.

D'après M. Chevalier, les poêles les plus répandus sont ceux de Nott, de Spoor et d'Olney. Dans tous ces poêles, le foyer est environné de briques, l'alimentation a lieu par la partie supérieure, et il y a un registre pour régler l'accès de l'air ; ils ne se distinguent réellement que par la forme et la disposition de la grille.

Dans le poêle de Nott, la grille est formée de barreaux circulaires ayant pour longueur les deux tiers de la circonférence, fixés à un axe qui passe par le centre commun, et auquel on peut imprimer un mouvement de va-et-vient par une manivelle extérieure ; la partie inférieure du foyer est une caisse en fonte qui enveloppe la grille à la hauteur du diamètre du cylindre formé par les barreaux ; on peut nettoyer très-facilement la grille en lui imprimant un mouvement oscillatoire. La grille du poêle Spoor est plane, circulaire, mais elle peut tourner et basculer complétement. La grille du poêle d'Olney est beaucoup plus simple : elle se compose de barreaux pliés à angle droit et placés de manière à former deux grilles : l'une horizontale, l'autre verticale ; la première supporte le combustible, la seconde

est ordinairement fermée par une porte qui ne s'ouvre que pour nettoyer la première au moyen d'une tige de fer qu'on fait passer à travers ses barreaux.

2555. *Poêles à flamme renversée.* — Un des premiers appareils se composait d'un tronc de cône vertical, avec une grille à sa partie inférieure ; il était fermé par un couvercle mobile à jour ; c'est par l'orifice supérieur qu'on introduisait le combustible, et c'est par les jours du couvercle que pénétrait l'air brûlé se rendant à la cheminée par les tuyaux de chauffage. Avec cette disposition, les grilles et le tuyau qui forment le foyer s'altèrent, et sont mis très-rapidement hors de service. On peut modifier heureusement ce système en s'approchant des dispositions (1843 à 1846).

2556. *Poêles à eau chaude.* — Pour éviter l'inconvénient qui résulte des surfaces métalliques trop fortement échauffées, on pourrait employer des appareils formés d'un vase plein d'eau, chauffé intérieurement par un foyer et des conduits à fumée d'une suffisante étendue. Il ne se formerait point de vapeur, si la surface extérieure et la section du tuyau à fumée avaient été calculées de manière que la perte de chaleur par l'enveloppe, lorsque la température de l'eau serait de 100°, fût égale à la chaleur produite par la combustion du plus grand poids de combustible qu'on pourrait brûler dans le même temps. Il serait bon, d'ailleurs, de placer sur le poêle un petit tuyau qui porterait à l'extérieur ou dans le tuyau à fumée la vapeur qui viendrait à se produire. On devrait aussi avoir un registre qui permît de fermer la cheminée quand l'eau serait arrivée à l'ébullition. Ces appareils auraient l'avantage de conserver la chaleur pendant assez longtemps. Toutefois, ils ne devraient pas renfermer un trop grand volume d'eau, parce qu'ils seraient trop lents à se réchauffer ou à se refroidir, et trop incommodes quand l'air extérieur éprouverait des variations brusques de température.

2557. *Poêles à température constante.* — Il y a à peu près quinze ans, un constructeur français imagina un poêle dont la température était rendue constante au moyen d'un registre qui réglait l'accès de l'air dans le foyer ; le mouvement du registre était produit par le mouvement du mercure dans le réservoir d'un thermomètre, mouvement qui se transmettait au moyen d'un flotteur et d'une petite chaîne à la partie supérieure du registre. L'invention n'a pas réussi et il est facile d'en voir la cause. Ce n'est pas le poêle qui doit être maintenu à une température constante, mais la pièce dans laquelle il est placé, et par conséquent la température du poêle doit varier

en sens contraire de la température extérieure. Cependant, plusieurs poêles à température constante ont été présentés à l'exposition universelle de 1855. On a prétendu alors qu'on pouvait, suivant le besoin, régler le régulateur ; mais, dans ce cas, il est plus simple de le supprimer et de régler la combustion à l'aide du registre du tuyau à fumée. Un régulateur de combustion serait une chose très-utile s'il était disposé de manière à maintenir constante la température de la pièce ; mais appliqué à un poêle, c'est un véritable contre-sens.

2558. *Poêles métalliques à circulation d'air intérieure.* — Ces poêles, qui sont généralement désignés sous le nom de poêles calorifères, se composent toujours d'une enveloppe cylindrique ; ils reçoivent l'air par la partie inférieure, et le versent par la partie supérieure dans la pièce, après qu'il a été échauffé ; ils renferment un foyer et des tuyaux diversement contournés que l'air brûlé parcourt avant de sortir de l'enveloppe pour se rendre dans la cheminée.

2559. Un des premiers appareils de ce genre a été construit par M. Chevalier, avec le but spécial de pouvoir être transporté d'une pièce dans une autre. La circulation de l'air brûlé dans l'appareil est réduite à la disposition la plus simple, et le tuyau à fumée se termine par un tuyau vertical de $0^m,60$ de hauteur, qu'on introduit dans la cheminée de la pièce qu'on veut échauffer. La surface de chauffe se réduit à celle du foyer qui occupe une grande partie de la section de l'enveloppe et à celle d'une caisse cylindrique en fonte placée au-dessus, et dont l'air brûlé est obligé de faire le tour. Un diaphragme force l'air de la pièce à s'élever librement entre l'enveloppe et le cylindre concentrique qui forme le foyer et la caisse qui le surmonte.

Il résulte des expériences faites par une commission de la Société d'encouragement que, cet appareil étant transporté dans différentes pièces grandes et petites, le tirage s'est toujours bien établi ; lorsqu'on alimentait par du bois, le registre étant complétement ouvert, et le cylindre enveloppant allongé de 0,50, l'air brûlé se dégageait à 105°. Or, comme la température à laquelle se trouverait l'air brûlé par la combustion du bois, si elle était complète, serait à peu près de 900 degrés, si toute la chaleur développée était employée à le chauffer, il en résulte que dans cet appareil la perte de chaleur excéderait peu $\frac{1}{9}$. Mais comme les conditions dans lesquelles ces expériences ont été faites ne sont

pas celles dans lesquelles ces appareils fonctionnent ordinairement, on se tromperait beaucoup si on comptait sur un résultat aussi avantageux. Dans cet appareil, l'air chaud ne sortait que par quatre ouvertures latérales d'un petit diamètre, et, par conséquent, en petit volume et à une température très-élevée, circonstances peu favorables à l'effet utile.

2560. On a construit depuis, sur le même principe, un grand nombre de poêles-calorifères, en modifiant, soit le foyer, soit la circulation de l'air brûlé. Ces appareils, quand ils sont portatifs, sont d'un usage très-commode, et tendent à se répandre. Comme ils sont entourés d'une enveloppe en tôle, la température est moins élevée que dans les poêles ordinaires. Ils peuvent d'ailleurs servir à produire la ventilation ; il suffit pour cela de laisser ouvert le bas de la cheminée d'une quantité convenable.

Les poêles Joly, que nous avons décrits (1847), rentrent dans la même classe des calorifères portatifs. Ils présentent l'avantage de renfermer un grand réservoir de charbon, ce qui permet de ne s'occuper de l'alimentation qu'à des intervalles assez éloignés.

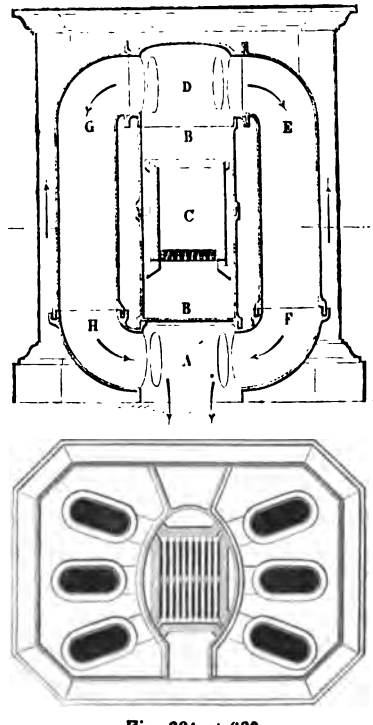


Fig. 661 et 662.

2561. Les figures 661, 662 représentent un poêle calorifère construit par M. d'Hamelincourt, ancien élève de l'École centrale, successeur de M. René Duvoir. Le foyer C est placé au centre. Il est formé d'une grille et de quatre plaques épaisses de fonte qu'on peut facilement remplacer quand elles sont usées. Les produits de la combustion s'élèvent verticalement jusque dans la chambre D où ils se divisent pour descendre par les six tuyaux elliptiques GH et EF ; ils arrivent ainsi à la chambre A qui communique avec une cheminée. Pour détruire le mauvais effet des dilatations inégales, on a employé des joints de sable. Toute cette partie de l'appareil est en fonte et entourée d'une enveloppe rec-

tangulaire en tôle. L'air froid arrive par la partie inférieure, s'échauffe, sans rencontrer d'obstacle, au contact de toutes les parois métalliques, et sort dans la pièce par une large bouche de chaleur. Ce calorifère me paraît bien entendu, surtout sous le rapport de la disposition des surfaces de chauffe qui sont bien utilisées.

2562. Nombre de fumistes français ont imaginé des calorifères plus ou moins bien disposés ; mais dans presque tous, les bouches de chaleur ont de trop petites dimensions. La plupart estiment l'effet utile d'un appareil, par la haute température de l'air échauffé, tandis que ce qu'on doit rechercher, c'est au contraire de chauffer un grand volume d'air à une température peu élevée. Cette fâcheuse idée est tellement enracinée chez les poêliers-fumistes, que l'un d'eux, qui dirigeait des ateliers importants, a présenté à l'exposition, en 1855, un appareil dont il a remis les dessins au jury, et dont les bouches de chaleur versaient l'air à 400°. Cet appareil était en cuivre poli ; il ne laissait sortir l'air chaud que par des bouches d'une matière peu conductrice, et sa surface extérieure était composée d'un poêle en fonte, entouré d'une double enveloppe de très-petite section. Il faut dire que le public se laisse facilement séduire par ces résultats, et, en accordant sa faveur aux appareils de cette espèce, justifie jusqu'à un certain point cet état de choses.

2563. La disposition la plus convenable pour la circulation de l'air brûlé, consiste à le faire monter immédiatement au-dessus du foyer jusqu'au point le plus haut de l'appareil, et à le faire descendre ensuite dans une double enveloppe communiquant par le bas avec la cheminée ; le tuyau central et le canal annulaire sont séparés par un cylindre de tôle mince qui s'échauffe par rayonnement ; l'air brûlé, en descendant dans le canal annulaire, s'y distribue uniformément. La figure 663 représente un poêle-calorifère remplissant l'ensemble des dispositions qui me semblent les plus convenables. Le foyer est environné d'une épaisseur de briques, parce que j'ai supposé qu'on brûlait de la houille sèche. Le nettoyage de cet appareil s'effectue facilement en enlevant les tampons qui ferment le canal central et le

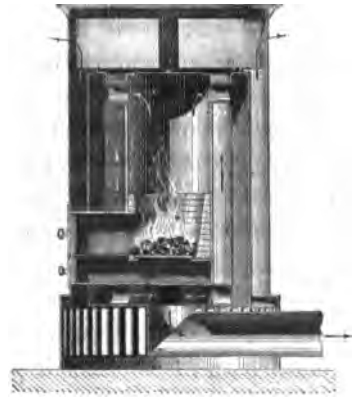


Fig. 663.

canal annulaire. Si l'enveloppe devait avoir pour section un rectangle allongé, on ferait descendre l'air brûlé par deux tuyaux rectangulaires placés de chaque côté du canal qui surmonte le foyer.

S'il y avait un grand intérêt à donner à l'appareil une surface de chauffe considérable, on pourrait supprimer le revêtement intérieur en briques du foyer, et faire venir de fonte, au tuyau d'ascension de l'air brûlé, des appendices qui se prolongeraient en dedans et en dehors, en ne changeant rien du reste à la disposition générale de l'appareil.

Cheminées-poêles.

2564. Je désigne ainsi les appareils de chauffage qui ont de l'analogie avec les cheminées, en ce qu'ils laissent voir le feu, et avec les poêles, parce qu'ils échauffent l'air par les parois du foyer. Ils sont vulgairement connus sous le nom de *cheminées prussiennes*.

L'appareil le plus simple est formé d'une caisse rectangulaire dont la face antérieure est semblable au foyer d'une cheminée à la Lhomond ; la caisse est quelquefois en fonte, mais plus ordinairement en tôle ; la partie antérieure peut se fermer et s'ouvrir à volonté au moyen d'un tablier vertical, composé de trois lames de métal que l'on fait monter ou descendre à l'aide de deux chaînes qui s'enroulent sur un cylindre de fer, et que l'on met en mouvement au moyen d'une manivelle placée latéralement. Ces appareils se placent ordinairement devant une cheminée que l'on a préalablement bouchée, et la fumée y est conduite intérieurement par un tuyau court horizontal, ou par un tuyau qui s'élève jusqu'au plafond. Dans ce dernier cas, l'effet produit est évidemment plus considérable, la surface de chauffe étant augmentée. Les parois intérieures sont ordinairement en briques. Les tuyaux de dégagement de l'air brûlé ont, comme les tuyaux des foyers découverts ordinaires, des diamètres qui varient de $0^m,20$ à $0^m,30$. Ces appareils ont les avantages et les inconvénients des foyers découverts ; mais ils transmettent de plus une certaine quantité de chaleur par les parois extérieures.

2565. On construit maintenant beaucoup de cheminées-poêles en fonte, d'une seule pièce, alimentés par la houille ; la grille est en berceau, et l'intervalle qui sépare les bords de la grille de l'encadrement du foyer, peut être fermé par une plaque mobile en fonte ou en tôle.

2566. On a cherché, comme pour les foyers découverts, à utiliser

une partie de la chaleur de l'air brûlé, pour chauffer l'air de ventilation. Desarnod avait construit un appareil qui produisait un assez grand effet utile, mais qui, fort compliqué, ne pouvait être nettoyé qu'en le démontant complétement. Plusieurs dispositions sont employées actuellement ; elles ne présentent rien de particulier et sont analogues à celles que nous avons déjà vues au sujet des cheminées d'appartement. Ces derniers appareils peuvent d'ailleurs être facilement transformés en cheminées-poêles ; il suffit pour cela de les mettre en saillie dans la pièce.

Chauffage par le gaz.

2567. Nous avons parlé (2469) de l'emploi du gaz comme chauffage lorsque les produits de la combustion sont directement mélangés à l'air de la pièce qu'il s'agit de chauffer. Nous avons dit que ce mode de chauffage peut être avantageux lorsqu'il se produit simultanément avec l'éclairage ; puisque ce dernier supporte les frais du chauffage. Lorsqu'un renouvellement suffisant de l'air de la pièce est assuré, ce mode de chauffage n'a rien de gênant ou de dangereux, parce qu'en général dans les appareils d'éclairage la combustion est complète et que les produits de la combustion consistent seulement en vapeur d'eau et acide carbonique.

2568. Mais il faut le dire, ce ne sera que bien rarement, et dans des cas tout à fait spéciaux, que le gaz servant à l'éclairage pourra servir utilement ou efficacement au chauffage. La principale raison en est que les appareils d'éclairage sont toujours placés à une certaine hauteur dans la pièce qu'ils éclairent, et que par conséquent les produits de la combustion à température assez élevée gagnent rapidement le haut de cette pièce, et y forment une couche d'air chaud, tandis que la partie inférieure reste froide, et n'est guère parcourue que par l'air froid appelé pour le renouvellement de l'air de la pièce.

On a donc dû chercher à réaliser le chauffage au moyen d'appareils spéciaux qui, soit par le rayonnement, soit par le contact avec les parties basses de l'air de la salle, pussent servir à échauffer celle-ci dans tous ses points.

On a employé à cet effet : des foyers ouverts, des poêles, des calorifères.

2569. *Foyers ouverts à gaz.* — Ces foyers peuvent chauffer par rayonnement direct du gaz dans la pièce, ou bien on peut se servir

de réflecteurs qui reçoivent les rayons de la chaleur et les renvoient dans la pièce dans toutes les directions.

Dans les foyers du premier genre, les brûleurs sont en fonte et de différentes formes : tantôt on leur donne la forme de bûches superposées, d'où le gaz s'échappe par de petites ouvertures, pour venir brûler blanc à l'extérieur, tantôt ce sont des couronnes ou des rampes de gaz dont les jets sont recouverts en partie par de l'amiante qui s'échauffe, est portée au rouge, et augmente le rayonnement. Ce brûleur peut être placé directement dans une cheminée ordinaire, ou dans une coquille en fonte ayant la forme d'une niche circulaire garnie à son pourtour d'une plaque plane qui bouche l'ouverture de la cheminée ; la partie supérieure de la coquille porte une ouverture munie d'un tuyau qui se rend dans la cheminée d'évacuation ; on peut employer la tôle polie pour construire cette coquille dont l'ouverture est alors à section carrée ; la tôle polie réfléchit la chaleur dans la pièce.

2570. Les foyers à réflecteurs les plus employés sont ceux du modèle Jacquet. Ce foyer est formé d'un coffre à ouverture rectangulaire se plaçant dans la cheminée, le fond du coffre est formé par une plaque en laiton ou en cuivre poli, ayant une forme paraboloïde ondulée, les côtés de la caisse sont aussi en laiton poli ; à la partie supérieure et derrière le bord de l'ouverture se trouve une rampe à gaz non visible de l'extérieur ; le gaz brûle blanc ; la réflexion des rayons se fait sur les parois en cuivre poli qui les renvoient dans toutes les directions. Ces foyers ont un aspect triste, et ils répandent toujours une légère odeur âcre et désagréable.

2571. Diverses précautions sont indispensables dans l'installation de ces foyers : il est important que le tuyau de conduite qui amène le gaz à ces appareils soit fait d'un métal non fusible à la température qui se développe dans le foyer, et le mieux sera d'employer des tubes en cuivre ou en fer étiré, on leur donne un diamètre de $0^{m},02$ pour une consommation de 1^{mc} de gaz à l'heure. Il est de plus indispensable que les produits de la combustion soient évacués au moyen d'une cheminée spéciale ; outre l'inconvénient déjà signalé que présentent ces produits lorsqu'ils se mélangent directement à l'air, il faut dire que dans beaucoup de cas, la combustion dans ces foyers peut n'être pas absolument complète, ce qui augmente la nocuité des gaz ; il est donc nécessaire d'avoir dans ce cas une issue des gaz large et facile, et de conserver aux cheminées d'évacuation des dimensions égales à celles qu'on emploie dans le cas des

autres foyers ouverts. Cette condition est d'ailleurs rendue nécessaire si l'on veut ventiler la pièce en même temps qu'on la chauffe.

Il se présente dans l'emploi de ces foyers deux dangers spéciaux que ne présentent pas ordinairement les combustibles solides, à savoir : le danger d'asphyxie et celui d'explosion. Dans les conditions ordinaires, on cherche à parer à ces dangers en plaçant dans les salles où se trouvent des appareils de chauffage au gaz des ventilateurs qui ne sont que de faibles ouvertures, garnies d'une hélice, et placées près du plafond de la pièce ; mais ce moyen est généralement insuffisant et les sinistres observés prouvent qu'il est malheureusement inefficace.

2572. *Poêles à gaz.* — Les poêles à gaz sont des enveloppes métalliques ou céramiques dans l'intérieur desquelles on fait brûler le gaz au moyen de champignons, de rampes ou de becs isolés, le gaz brûlant bleu ou blanc suivant les cas ; l'enveloppe est échauffée et rayonne dans la pièce ; on dispose ce poêle, au point de vue de la surface de chauffe, de façon à ce que les gaz de la combustion soient évacués à une faible température, de façon à utiliser aussi complétement que possible la chaleur produite. Il en résulte une condensation de la vapeur d'eau produite par la combustion ; aussi les tuyaux d'évacuation doivent-ils être pourvus de siphons destinés à recueillir la vapeur condensée, ils doivent être galvanisés pour éviter la rouille. Les poêles à gaz ont, de plus que les foyers ouverts, l'inconvénient qu'ils ne peuvent fournir aucune ventilation de la pièce échauffée.

2573. *Calorifères à gaz.* — Les calorifères à gaz peuvent être métalliques ou céramiques ; dans tous les cas, ils se composent de deux capacités, formées d'un ou de plusieurs compartiments chacune, et séparées par des cloisons. Dans l'une de ces capacités on brûle du gaz, dans l'autre circule l'air de ventilation. La première capacité est munie d'une ouverture qui prend l'air de la pièce nécessaire à la combustion, et d'une autre pour l'évacuation des gaz brûlés dans une cheminée ; la seconde est munie d'une ouverture qui amène l'air extérieur et d'une ou plusieurs ouvertures ou bouches de chaleur par lesquelles l'air échauffé s'introduit dans la chambre. On fait circuler l'air de ventilation en sens inverse des produits de la combustion, de façon à refroidir ceux-ci autant que possible. Les calorifères présentent sur les foyers ouverts l'avantage que les produits de la combustion ne peuvent guère rentrer dans l'intérieur de la pièce, et ils assurent la ventilation de cette pièce, à

la condition toutefois que l'ouverture d'accès de l'air froid soit suffisante et qu'on ait ménagé des ouvertures suffisantes aussi pour la sortie de l'air vicié.

2574. Le chauffage par le gaz n'est point un chauffage économique, nous avons vu qu'il est très-notablement plus cher que le chauffage à la houille ou au bois. Il est presque toujours moins salubre, et il présente le danger spécial de l'explosion et de l'asphyxie, aussi n'est-ce point un chauffage à recommander d'une façon générale. Il est surtout nécessaire d'insister sur ce point qu'il serait absolument inexact de penser que le gaz peut être brûlé sans inconvénient en rejetant les produits de la combustion dans l'air même de la pièce parce que ces produits sont invisibles et sans odeur quand la combustion est complète. Aussi faut-il proscrire absolument cet usage que l'on tend à adopter de chauffer au moyen d'appareils à gaz des pièces sans cheminées, en rejetant les produits de la combustion dans la pièce elle-même. Il arrive toujours que les personnes qui séjournent dans les pièces ainsi chauffées éprouvent des malaises, et quelquefois des accidents.

Dans le cas de chauffages intermittents, la commodité du chauffage au gaz pourra le faire préférer, mais il sera toujours nécessaire d'assurer une ventilation très-active des pièces ainsi chauffées.

Le chauffage au gaz peut être encore employé avantageusement quand il s'agit d'entretenir une température constante dans une capacité fermée de faible étendue, comme une étuve, ou bien encore quand il s'agit de maintenir un bain liquide à une température déterminée ; on place alors dans le bain ou dans l'étuve un régulateur qui agit sur le robinet de distribution du gaz et augmente ou diminue la quantité de gaz brûlé suivant que la température tend à s'abaisser ou à s'accroître.

Examen des différents modes de chauffage employés.

2575. Dans ce qui précède, j'ai décrit les différents modes de chauffage et de ventilation employés dans nos habitations particulières; pour les comparer, il faut d'abord poser les conditions à remplir et examiner ce qui se passe dans les divers systèmes.

2576. Les conditions à remplir consistent à maintenir la température à un certain degré à peu près constant et à produire une ventilation efficace en rapport avec les circonstances, ventilation qui

ne doit pas être inférieure à 15 mètres cubes par personne et par heure.

2577. Considérons une pièce d'une dimension moyenne, dans laquelle nous supposerons le régime établi, l'air extérieur étant à 6°, température moyenne des sept mois de chauffage, et l'air intérieur étant à 15°; et calculons la quantité de chaleur renfermée dans les murailles et le plancher, ainsi que la quantité de chaleur perdue pendant le chauffage.

Supposons que la pièce ait 5 mètres de largeur, 4 mètres de hauteur, deux fenêtres de $2^m,30$ sur $1^m,20$, dont la surface totale est de $5^{mq},52$; les murailles exposées à l'air ont alors $14^{mq},48$ de surface; nous supposerons la profondeur de 5 mètres, et trois portes ayant ensemble $7^{mq},25$ de surface; la surface totale des murailles latérales et de celles du fond sera $60 - 7,25 = 52^{mq},75$; en supposant leur épaisseur de $0^m,40$, la quantité d'unités de chaleur qu'elles absorberont de 0° à 15° sera $52,75 . 0,4 . 2, 2 . 15 . 0,5 . 1000 = 348150$. En admettant que le plancher ait $0^m,30$ d'épaisseur, que les pièces de bois occupent la moitié du volume total, et le plâtre un quart, le volume du bois sera égal à $25 . 0,30 . 0,5 = 3^{mc},75$; celui du plâtre, à $1^{mc},87$; la chaleur absorbée par le bois de 0° à 15° sera de $3,75 . 1000 . 0,6 . 15 . 0,5 = 16875$; celle du plâtre sera égale à $1,87 . 1000 . 1,25 . 15 . 0,19 = 6660$. En prenant seulement pour la pièce la moitié de la chaleur des murailles intérieures et celle du plafond ou du plancher, la somme de ces quantités de chaleur sera égale à $174075 + 16875 + 6660 = 197500$.

La surface des murailles exposées à l'air extérieur étant de $14^{mq},48$, celle des vitres de $5^{mq},22$, la quantité totale de chaleur transmise par mètre carré et par heure sera (984, 998) de $14,48 . 16,23 + 5,52 . 23,85 = 366$.

2578. Il résulte de là plusieurs conséquences importantes. 1° En supposant une interruption de chauffage de dix heures, ce qui a lieu ordinairement, la perte de chaleur par les vitres et les murailles ira constamment en diminuant par l'abaissement de température des surfaces intérieures de la pièce, mais en la supposant égale à celle qui a lieu pendant le chauffage, elle serait de 3660, tandis que la chaleur renfermée dans les murailles et le plancher est de 197500; ainsi la perte n'est qu'une très-petite partie de la chaleur renfermée dans les murailles; cette perte varie nécessairement avec les dimensions des vitres et des murailles, mais dans les cas ordinaires on peut admettre qu'elle est toujours très-faible, d'autant plus que

les rideaux qui couvrent habituellement les fenêtres la diminuent encore de beaucoup. 2° Si par une longue interruption de chauffage, le régime des murailles avait été perdu, il faudrait beaucoup de temps et un chauffage très-long pour le rétablir.

2579. Il est important de remarquer que si les murailles d'une pièce étaient à une basse température, et si on la chauffait par rayonnement ou par un courant d'air chaud, ou bien par ces deux moyens à la fois, avec un calorifère placé dans l'intérieur, l'air chaud ne se refroidirait que lentement en descendant contre les murailles, et avec une lenteur qui augmenterait à mesure que les surfaces intérieures des murailles auraient été plus échauffées, et par conséquent que le chauffage de la pièce pourrait s'effectuer momentanément, mais avec une dépense de combustible beaucoup plus grande que si le régime était établi.

Examinons maintenant les effets produits par les différents modes de chauffage, tant sous le rapport du chauffage lui-même que sous celui de la ventilation.

2580. *Chauffage par le rayonnement.* — Les cheminées le plus généralement employées, sont les cheminées à ouverture rétrécie et à tablier mobile (2496). Dans ce mode de chauffage on n'utilise, comme nous l'avons vu, qu'une faible partie du rayonnement du combustible, et toute la chaleur entraînée par l'air qui a servi à la combustion est perdue pour le chauffage. De plus l'ouverture de la cheminée étant libre, la cheminée appelle un très-grand volume d'air qui n'alimente pas la combustion. Ces cheminées sont donc de mauvais appareils de chauffage, mais de puissants appareils de ventilation. Pour avoir une idée des effets produits, considérons un foyer communiquant avec une cheminée de $0^m,20$ de diamètre, de 20 mètres de hauteur, dans lequel on brûle seulement 1 kilog. de bois par heure, la quantité de chaleur produite sera à peu près égale à 2600 unités; et en supposant que 2000 s'écoulent avec l'air dans la cheminée, que la température de la pièce soit de 15°, on trouve que la température de l'air dans la cheminée sera de 32°, et que le volume d'air appelé par heure sera de 375 mètres cubes : volume qui serait beaucoup plus considérable, si la section et la hauteur de la cheminée étaient plus grandes, ainsi que la consommation de combustible. La ventilation est cependant toujours notablement diminuée par la résistance que l'air éprouve à passer à travers les fissures des portes et des fenêtres, et par la diminution de pression qui se produit dans la pièce; aussi elle augmente toujours par l'ouverture d'une

porte et d'une fenêtre. Malgré ces circonstances, la ventilation est encore très-forte et presque toujours très-incommode, parce que l'air appelé provient directement de l'extérieur, et tend à refroidir la pièce d'autant plus que la température extérieure est plus basse. On comprend ainsi que, quelle que soit la consommation de combustible, on ne puisse pas parvenir à échauffer convenablement la pièce ; et il pourrait même arriver qu'un accroissement dans la quantité de combustible brûlé, produisît un abaissement de température, parce que la quantité de chaleur rayonnée peut croître dans un rapport plus faible que le refroidissement provenant de l'accroissement d'appel. C'est un fait que j'ai constaté par expérience. J'ajouterai qu'en général, cette grande ventilation est beaucoup moins efficace pour l'assainissement qu'on ne serait tenté de le croire, lorsque l'air appelé, pénétrant dans la pièce par les fissures des portes et des fenêtres, tombe rapidement sur le sol, où il se réunit avec celui qui passe au-dessous des portes pour gagner, en rasant le plancher, l'ouverture de la cheminée. Cet air ne se mêle donc qu'en petite partie avec celui de la pièce, et seulement par le mouvement des personnes qui s'y trouvent, l'acte de la respiration et les appareils d'éclairage ; la température de l'air est croissante de bas en haut, et suivant une loi d'autant plus rapide que la pièce est occupée par un plus grand nombre de personnes, et qu'elle est éclairée par plus de lampes et de bougies.

2581. Nous avons supposé que l'air appelé par la cheminée était fourni par les fissures des portes et des fenêtres : c'est ce qui arrive en général ; mais si les portes et les fenêtres joignent bien, ou si, comme cela se fait souvent, les joints sont garnis de bourrelets, pour diminuer l'accès de l'air extérieur ; avec les cheminées ordinaires, la fumée doit refluer dans la pièce. Supposons d'abord que l'appartement soit exactement fermé ; la combustion produira une dépression constante dans la pièce, et la colonne d'air chaud de la cheminée cessera évidemment de s'élever, quand la pression de l'atmosphère au sommet de la cheminée, augmentée de celle qui provient de la colonne d'air chaud, fera équilibre à la tension de l'air de l'appartement. Mais cet équilibre ne pourrait subsister qu'autant que toutes les molécules d'une même tranche horizontale de la colonne d'air chaud seraient solidaires, qu'elles seraient obligées de marcher ensemble dans la même direction, et avec la même vitesse. Comme il n'en est point ainsi, qu'elles sont réellement indépendantes, la plus légère différence dans la température ou le frot-

tement, détruira cet équilibre, et il se produira deux courants : l'un d'air chaud, qui sortira de la cheminée ; l'autre d'air extérieur, qui pénétrera dans la pièce, en entraînant avec lui une partie du gaz provenant de la combustion. Admettons maintenant que la pièce ne soit pas exactement close, et qu'on augmente progressivement la somme des orifices d'accès de l'air extérieur, les doubles courants dont je viens de parler se manifesteront encore jusqu'à ce que les sections des orifices aient atteint une certaine étendue qui dépendra des dimensions de la cheminée et de la consommation de combustible. Cette absence d'orifices d'accès de l'air extérieur, pour la ventilation de chaque pièce, a encore l'inconvénient de favoriser l'introduction de l'air extérieur par les cheminées des pièces voisines en communication, de ne pas permettre souvent d'en allumer simultanément les foyers, et, par suite, d'amener dans une pièce de la fumée par un tuyau de cheminée, au-dessous duquel le foyer peut ne pas être allumé (2532). A la vérité, on dispose souvent contre les murs des maisons particulières, des orifices garnis de plaques de fonte à jour, destinés à permettre l'accès de l'air extérieur derrière les foyers ; mais la somme totale des orifices libres est en général trop petite.

2582. Ainsi nos cheminées domestiques, disposées comme elles le sont presque partout en France, n'utilisent qu'une très-petite partie du combustible ; elles provoquent une grande ventilation, quand les fissures des portes et des fenêtres le permettent ; mais cette ventilation a lieu par des veines d'air froid qui, se prolongeant à une grande distance, sont toujours désagréables, et peuvent, dans certains cas, causer des maladies graves, surtout dans les réunions et les bals, où les dames peuvent se trouver longtemps exposées à leur contact glacé. Fréquemment aussi, il redescend de la fumée dans les pièces, par suite de l'absence de dispositions pour laisser pénétrer régulièrement un volume d'air égal à celui qui s'écoule par la cheminée.

2583. M. le docteur Arnott a imaginé un appareil spécial pour la combustion de la houille et du coke, dont nous avons fait la description (817). Quand il est appliqué au chauffage des appartements, l'air extérieur arrive au-dessous de la plaque mobile qui forme le fond du foyer, et la cheminée est percée, à la hauteur du plafond, d'un orifice fermé par une soupape, et qu'on peut ouvrir plus ou moins, à l'aide d'un cordon. Cette soupape permet de régler la ventilation ; mais l'accès de l'air froid dans la pièce au-dessous du

foyer, par des veines qui peuvent se prolonger à une grande distance, doit être très-incommode.

2584. Les appareils dans lesquels on chauffe de l'air pris dans la pièce, en le faisant passer dans des tuyaux disposés autour du foyer, produisent évidemment plus d'effet utile que les cheminées dont nous venons de parler, puisqu'ils emploient une partie de la chaleur perdue. En outre, ils diminuent la ventilation par le rétrécissement des orifices d'accès de l'air dans la cheminée; et enfin, quand ils sont disposés convenablement, ils établissent dans l'air de la pièce un mouvement qui dissémine l'air d'appel, et doit le rendre plus efficace pour l'assainissement. Ces appareils ne réaliseraient toutefois qu'une faible utilisation du combustible, si l'ouverture de la cheminée était trop grande, parce que l'air brûlé, étant mêlé avec l'air appelé au-dessus du foyer, n'est plus à une température assez élevée pour échauffer convenablement les tuyaux parcourus par l'air. Cette utilisation peut devenir assez grande dans les foyers à coquille et en particulier dans le foyer Joly quand il est muni de son coffre supérieur (2526).

2585. *Poêles.* — Tous les poêles métalliques, quelles que soient leurs formes et leurs dispositions, peuvent utiliser complétement la chaleur développée dans le foyer, pourvu que l'air brûlé s'élève d'abord à une hauteur suffisante pour produire le tirage, et que les surfaces de refroidissement de la fumée soient assez étendues. Bien qu'ordinairement l'air brûlé soit abandonné à une température assez élevée, ils utilisent cependant presque tous une grande partie de la chaleur. Mais avec ces appareils, la ventilation est à peu près nulle, car ils n'appellent que le volume d'air nécessaire à la combustion. Ainsi ces poêles sont d'excellents appareils de chauffage, mais ils sont insalubres. Les poêles en terre cuite ont les mêmes avantages, et, de plus, ils n'ont pas l'odeur spéciale que prend le métal soumis à une température trop élevée ; mais ils sont aussi insalubres que les poêles métalliques. Les poêles à alimentation continue sont évidemment dans le même cas. Quant aux poêles à température constante, leur but est contraire à celui qu'on doit chercher à atteindre, puisque, pour maintenir une pièce à une température constante, il faut y introduire une quantité de chaleur qui varie proportionnellement à l'excès de la température intérieure sur la température extérieure, et que cette dernière varie constamment.

2586. Les poêles à double enveloppe sont exactement dans le cas

des poêles ordinaires, quand l'intervalle des enveloppes n'est parcouru que par l'air de la pièce. Mais quand l'enveloppe communique avec l'air extérieur, que le tuyau à fumée se rend dans une cheminée ouverte par le bas, l'effet utile du combustible s'élève beaucoup, et la ventilation est obtenue dans d'assez bonnes conditions. En effet, l'air extérieur tend à pénétrer dans la pièce, par suite de son échauffement dans l'enveloppe, et par l'excès de la température de l'air dans la cheminée sur la température extérieure ; toutefois la ventilation varie nécessairement avec le chauffage, ce qui est mauvais.

Pour ces appareils, comme pour tous ceux dans lesquels l'air est échauffé dans des tuyaux, les orifices de dégagement de l'air chaud, ou *bouches de chaleur*, ont, en général, de trop petites sections, parce que, pour la plupart des constructeurs, et souvent pour le public, les appareils sont d'autant meilleurs qu'ils produisent des courants d'air plus chauds et plus rapides ; et c'est précisément le contraire qu'on doit chercher. Il faut chauffer un grand volume d'air à une température peu élevée, afin d'obtenir plus d'effet des surfaces de chauffe, et de ne pas altérer l'air.

M. Darcet a publié, dans les *Annales d'hygiène*, un article fort intéressant sur cette manie des constructeurs, de donner aux bouches de chaleur des dimensions insuffisantes. Je citerai un passage de cet article.

« Le vice de construction que je signale ici est tellement commun qu'on le remarque presque partout, et principalement dans les établissements publics, où la grandeur des poêles fait encore mieux ressortir l'extrême petitesse de leurs bouches de chaleur. Je pourrais donner mille exemples de ce fait, mais je me contenterai d'en citer quelques-uns des plus remarquables.

« En 1841, le conseil général des manufactures fut assemblé, au ministère du commerce, dans une salle nouvellement bâtie, sans système régulier de ventilation, beaucoup plus longue que large, et très-mal chauffée par un grand poêle placé à l'une de ses extrémités. Le bureau était établi sur une estrade, à l'extrémité opposée, et le grand poêle n'était garni que de très-petites bouches de chaleur, n'ayant peut-être pas, à elles toutes, un décimètre carré d'ouverture libre.

« Pour échauffer la salle, le jour de l'ouverture de la session du conseil, le garçon de bureau avait été obligé de pousser le feu au point de chauffer au rouge jusqu'aux garnitures en cuivre des bou-

ches de chaleur ; l'air contenu dans la salle avait une odeur de *brûlé* fort désagréable, et la chaleur, trop forte près du poêle, n'avait pu parvenir, du côté opposé, jusqu'au bureau où siégeait le ministre. Je me plaignis de cet état de choses ; on m'envoya, le lendemain, le fumiste du ministère ; je lui fis augmenter convenablement l'ouverture de la prise d'air, et je fis établir, sur le devant du poêle, une grande bouche de chaleur ayant, autant que je puis m'en souvenir, 20 décimètres carrés d'ouverture, c'est-à-dire environ vingt fois autant de section qu'en avaient les bouches de chaleur primitives ; on ne toucha pas à l'armature du poêle, et toute la réparation fut terminée en un jour de travail. Une seconde cheminée ne servant pas, existait derrière le bureau, à l'opposé de celle du poêle ; je la fis ouvrir par le bas, au-dessous de l'estrade, pour évacuer l'air vicié dans la salle, et le lendemain, jour de séance des trois conseils réunis, on obtint, sans pousser le feu dans le poêle, tout le succès désirable, tant sous le rapport de l'échauffement égal de tous les points de la salle, que sous celui de la salubrité de l'air qu'on y respirait.

« Le même changement a été fait de la même manière et avec le même succès au poêle de la salle des séances du conseil de salubrité à la Préfecture de police, à celui du laboratoire des essais à la Monnaie de Paris, etc., etc. »

2587. Dans l'article dont je viens de parler, M. Darcet admet que l'air, en sortant du poêle, doit être échauffé seulement de 20° ; alors, en supposant que la combustion de 1 kilogramme de houille peut échauffer 900 mètres cubes d'air de 20°, et que la vitesse de sortie est de 2 mètres, il en conclut que les poêles doivent avoir des bouches de chaleur de 12,50 décimètres carrés de surface pour chaque kilogramme de houille à brûler par heure. Mais il ne suffit pas que les bouches de chaleur aient une surface assez grande, il faut que dans tout le circuit que parcourt l'air qui s'échauffe, la section ne soit pas inférieure à celle des bouches ; autrement le rélargissement du canal, à son extrémité, n'aurait que peu d'influence. L'énorme section à laquelle M. Darcet est conduit serait souvent difficile à établir. Je pense qu'une section deux fois plus petite serait bien suffisante dans tous les cas, et bien supérieure encore à celle que les constructeurs d'appareils donnent toujours aux bouches de chaleur.

Modes de chauffage et de ventilation les plus convenables dans les différents cas.

2588. Pour les antichambres des grandes maisons, le chauffage par les poêles en terre cuite, garnis de larges bouches de chaleur versant un grand volume d'air à une température peu élevée, est le mode le plus avantageux, parce que l'alimentation du foyer ne se fait qu'à des époques assez éloignées, et que l'air échauffé peut servir à la ventilation des pièces voisines. Ce même mode de chauffage serait aussi le plus convenable pour les escaliers des hôtels.

2589. Pour les salles à manger, comme elles ne sont occupées que pendant les heures de repas, elles ne doivent être échauffées que par intermittence ; le meilleur mode de chauffage consiste dans des calorifères en tôle, qui permettent de cesser le chauffage quand la chaleur produite par les convives et les lumières est suffisante. La forme la plus convenable serait celle d'un parallélipipède, long et étroit, renfermant des tuyaux verticaux, communiquant par le bas avec l'air extérieur, et versant l'air échauffé dans la pièce par la partie supérieure, l'air brûlé cheminant de haut en bas dans l'intervalle des tubes. Un orifice destiné à la ventilation devrait être établi au bas de la cheminée. Pour les petites habitations, le poêle pourrait être surmonté d'une caisse en tôle, servant à chauffer les assiettes. Les poêles en terre cuite ne sont utiles que quand ces salles sont constamment occupées.

2590. Les chambres particulières sont ordinairement chauffées par de simples cheminées. Ces appareils, comme je l'ai dit, produisent peu d'effet utile sous le rapport du chauffage, et beaucoup trop sous le rapport de la ventilation. L'appareil décrit (2523) serait d'un usage bien plus avantageux que tous les autres parce qu'il permet de régler le chauffage et la ventilation, et qu'il utilise la majeure partie de la chaleur produite.

2591. On pourrait aussi employer des poêles ordinaires ou les poêles à double enveloppe désignés sous le nom de calorifères. On obtiendrait ainsi un plus grand effet utile ; mais la ventilation se trouverait réduite au volume d'air nécessaire à la combustion. Il serait toutefois facile de produire une ventilation variable à volonté, dans des limites assez étendues, en établissant (*fig.* 664 et 665) dans la plaque de tôle qui ferme l'ouverture du bas de la cheminée et que traverse le tuyau à fumée du poêle ou du calorifère, une ouverture à

registre glissant ou tournant par laquelle l'air de la pièce s'écoulerait dans la cheminée ; seulement, dans ce mode de ventilation, l'air extérieur est uniquement fourni par les fissures des portes et des fenêtres.

Fig. 664.

Fig. 665.

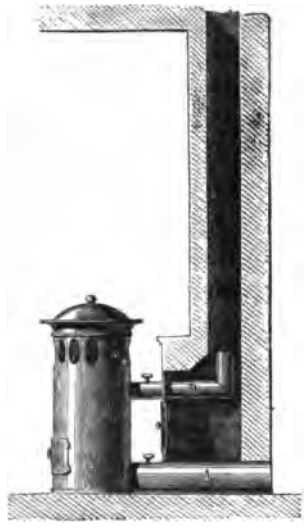


Fig. 666.

2592. Si le tuyau de cheminée était adossé à un mur extérieur, on pourrait facilement produire une ventilation par un appel régulier de l'air extérieur au moyen de la disposition indiquée par la figure 666 ; A est le tuyau d'appel qui traverse le mur placé derrière la cheminée, B le tuyau d'écoulement de l'air brûlé ; au-dessous est l'orifice à registre de sortie de l'air de l'appartement.

2593. Dans le cas où la pièce ne serait pas munie de cheminée dans le mur, le même résultat est encore facile à obtenir au moyen de la disposition indiquée dans la figure 667 ; A est le tuyau d'appel, BB le tuyau d'écoulement de l'air brûlé, C l'orifice de sortie de l'air : cet orifice communique avec un tuyau DD qui environne le tuyau d'écoulement de l'air brûlé.

2594. Toujours en supposant l'absence de cheminées dans la pièce à chauffer, mais en admettant qu'il s'en trouve une au-dessus, on pourrait employer la disposition indiquée par la figure 671. AA tuyau d'écoulement de l'air brûlé ; DD tuyau d'écoulement de l'air de la pièce ; BB, tuyau d'appel de l'air extérieur ; ce tuyau est garni d'un appendice E, au moyen duquel, en fermant les registres *a*

et *c* et ouvrant le registre *b*, on peut chauffer la pièce sans produire de ventilation. En fermant seulement le registre *a*, la ventilation s'effectue par les fissures des portes et fenêtres.

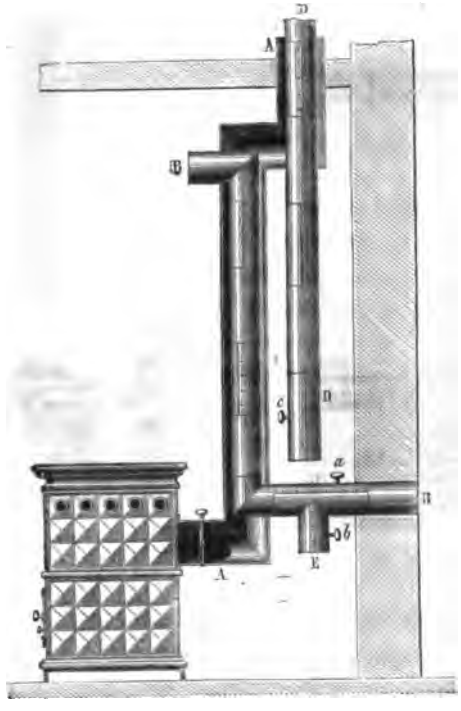


Fig. 667.

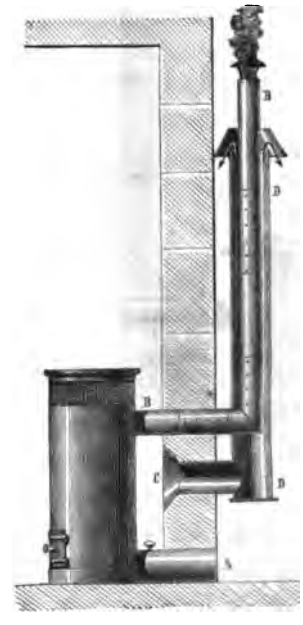


Fig. 668.

2595. Si la salle a une très-grande longueur, on peut adopter la disposition indiquée figure 669. A est un calorifère métallique à air chaud et à double enveloppe, recevant directement l'air extérieur qui doit être échauffé ; B est une cheminée située sur la face opposée et qui sert en même temps pour le chauffage et pour la ventilation.

2596. La figure 670 représente la disposition du chauffage d'une pièce X, qui n'avait point de cheminée. La pièce précédente Y, qui sert d'antichambre à la première, a reçu un calorifère A, garni d'une large bouche à air chaud D, et dont le tuyau à fumée BB débouche dans la cheminée C, entièrement fermée par la partie inférieure. On a placé ensuite dans la pièce X un foyer découvert E, dont le tuyau FF traverse la salle X, et vient se rendre dans la chemi-

née C. Cet appareil, qui fonctionne depuis vingt-huit ans à l'École centrale, est d'un service très-commode. On accroît à la fois le chauffage et la ventilation de la pièce X, en augmentant l'activité du feu dans le foyer E. La pièce Y est occupée par les bureaux ; la pièce X est le cabinet du directeur. Cette dernière pièce, qui est très-élevée,

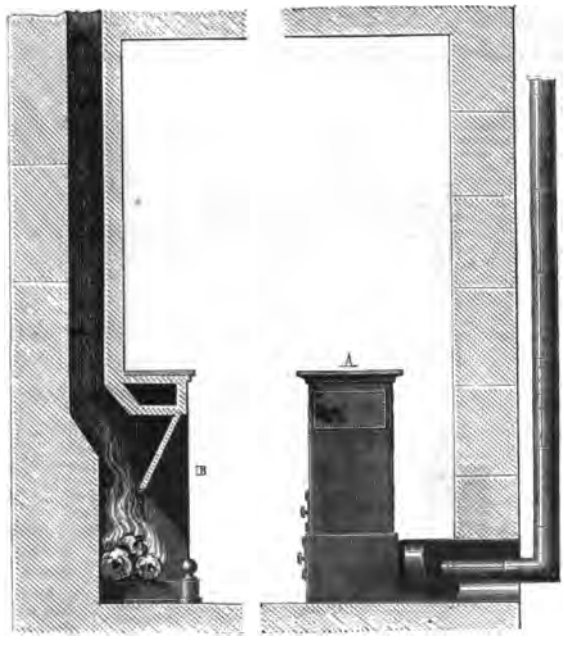


Fig. 669.

et qui est éclairée par une très-grande fenêtre, n'avait jamais pu être chauffée ; elle l'est maintenant très-facilement, et avec un feu très-faible dans la cheminée E. La bouche D est rectangulaire ; elle a $0^m,40$ sur $0^m,20$: sa surface est vingt fois plus grande que celle de la bouche que le fumiste qui a construit le calorifère voulait établir ; et c'est évidemment dans la grandeur de cette bouche que réside l'efficacité de l'appareil. Ce mode de chauffage n'a présenté qu'un seul inconvénient : les tuyaux de chauffage, dans le calorifère A, n'étant fixés qu'avec de la terre, comme dans les autres calorifères du même genre, il arrive que, quand le tirage de la cheminée E l'emporte sur celui de la cheminée B, un peu d'air brûlé, et par suite un peu de fumée, passe dans l'air chaud qui débouche dans le canal D. Cette quantité de fumée est très-petite, tout à fait insensible

à l'odorat, mais à la longue elle finit par donner une légère teinte de bistre au mur qui est au-dessus de la bouche à air chaud. Le mélange d'une petite quantité de fumée à l'air chauffé dans les calorifères est inévitable, quand la vitesse du courant d'air chaud l'emporte sur celle de l'air brûlé, car on n'a aucun moyen de rendre complétement étanches les joints des métaux et de la terre cuite. Mais on pourrait en faire disparaître les traces soit en employant pour combustibles du coke ou des houilles sèches, soit en brûlant

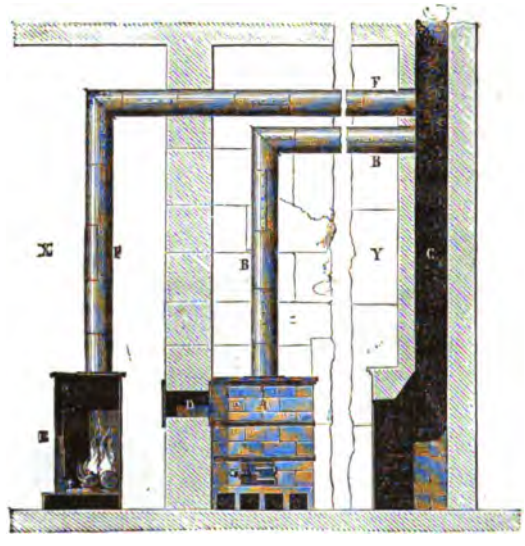


Fig. 670.

un combustible quelconque et en avançant dans la pièce l'extrémité du tube D, soit enfin en plaçant à la partie supérieure de la bouche une plaque inclinée qui éloignât la veine d'air chaud du mur.

2597. Pour des pièces, même d'une assez grande étendue, qui sont précédées de plusieurs autres, dont les portes et les fenêtres ferment médiocrement, et dont l'ouverture du foyer n'est pas trop grande, on peut obtenir un chauffage et une ventilation suffisants même dans les plus grands froids, avec un foyer découvert ordinaire, mais à la condition de brûler beaucoup de combustible. Ce mode de chauffage a pourtant un avantage fort apprécié par certaines personnes, et qui le fait préférer à tous les autres, c'est de faire respirer de l'air frais, et non de l'air échauffé et desséché.

2598. *Chauffage et ventilation des salons.* — Lorsque les salons

ont une assez grande étendue, et qu'ils ne renferment qu'un petit nombre de personnes et peu d'appareils d'éclairage, ils sont bien difficilement et bien chèrement échauffés par une simple cheminée à foyer découvert. Le mode de chauffage et de ventilation le plus commode, consiste, dans ce cas, à placer dans la pièce voisine, ou à l'étage inférieur, un calorifère versant dans le salon, du côté opposé à la cheminée, un volume d'air considérable à une température peu supérieure à 12°; le foyer de la cheminée qui sert à compléter le chauffage, détermine la ventilation et donne la faculté de profiter de la chaleur directe toujours plus agréable pour chauffer rapidement une partie du corps.

2599. Mais quand les salons renferment un grand nombre de personnes et de nombreux appareils d'éclairage, les conditions d'assainissement sont bien différentes. D'après les dispositions généralement usitées, qui consistent tout simplement à produire la ventilation par l'appel d'un foyer découvert, la température, en peu de temps, devient très-élevée, et l'air est quelquefois tellement vicié qu'on éprouve un malaise que beaucoup de personnes ne supportent que difficilement; les appareils d'éclairage eux-mêmes ne continuent à brûler qu'avec peine, et ne répandent plus qu'une lumière amoindrie et sans éclat. Ces inconvénients proviennent de la grande quantité de chaleur produite par la respiration, par les appareils d'éclairage, de la position des orifices d'appel et de l'absorption de l'oxygène, comme nous allons le voir.

2600. Considérons une salle renfermant trois cents personnes, éclairée par cent bougies; la quantité de charbon consommée sera à peu près de 10 grammes par personne et par bougie, et en tout de 4 kilogrammes; supposons une ventilation régulière de 10 mètres cubes d'air par personne, par bougie et par heure, en tout de 4,000 mètres cubes; on sait que 1 kilogramme de charbon peut élever 1,000 mètres cubes d'air de 8,000 : (1,3 . 0,24 . 1000) = 25°,64; ainsi, quelle que soit la température de l'air de ventilation à l'entrée de la pièce, par le seul effet de la respiration et des appareils d'éclairage, la température de l'air serait élevée de 25°,64. Si la ventilation était deux fois plus grande, la température s'élèverait seulement de 12°,82, et de 51°,28, si elle était réduite à moitié. A la vérité, je n'ai pas tenu compte de la chaleur perdue par les vitres et les murailles, mais elle est en général très-petite relativement à la quantité de chaleur produite dans les grandes réunions de nuit.

2601. Mais une autre circonstance contribue plus encore à l'insa-

lubrité de la salle et rend cette insalubrité presque indépendante du degré de ventilation produit par un ou plusieurs foyers découverts. L'air qui pénètre dans la pièce, qu'il provienne d'un calorifère ou directement de l'extérieur, est toujours à une plus basse température que celui de la salle de réunion; il tombe sur le sol et chemine vers les foyers d'appel en suivant le plancher et en n'entraînant avec lui qu'un petit volume d'air échauffé : ainsi, il n'y a qu'un très-faible renouvellement de l'air à une petite hauteur, et au-dessus se trouve de l'air stagnant dont la température et l'état insalubre augmentent avec la hauteur. On retrouve ici, et d'une manière très-nette, le cas que nous avions prévu en parlant du mouvement de l'air dans les lieux ventilés, lorsque l'air de ventilation est plus froid que l'air de la pièce.

Il faut alors nécessairement changer le mode de ventilation, et faire sortir l'air par la partie supérieure; l'air marchant de bas en haut ne sera échauffé qu'à une assez grande hauteur par les appareils d'éclairage; l'air chaud sortant des poumons s'élèvera directement, et une ventilation modérée suffira pour maintenir une température convenable et un bon état sanitaire.

2602. On pourrait employer une ouverture pratiquée dans la cheminée du foyer découvert, à la hauteur du plafond, garnie d'un registre qu'on n'ouvrirait que quand les circonstances l'exigeraient. L'appel latéral introduirait dans la cheminée un certain volume d'air de la pièce; l'effet serait augmenté, si le registre s'abaissait intérieurement et diminuait la section de la cheminée. A la vérité, ce tirage affaiblira celui qui a lieu par l'ouverture du foyer découvert; mais ce sera un avantage, et cette disposition sera très-efficace, si le tirage de la cheminée est suffisant, et si l'air extérieur, préalablement échauffé à 10 ou 12°, arrive dans la pièce par un large orifice; mais si l'air extérieur ne pouvait pas pénétrer facilement dans la pièce, et si la cheminée, au-dessus du plafond, n'avait pas une assez grande hauteur, il pourrait se former dans la cheminée deux courants en sens contraires et le courant descendant amènerait de la fumée dans la pièce.

2603. On emploie quelquefois des vitres mobiles autour d'une charnière horizontale, et placées à la partie supérieure des fenêtres. En ouvrant une ou plusieurs de ces ouvertures, on fait nécessairement sortir l'air chaud; mais, à moins que l'air extérieur, échauffé par des calorifères, n'arrive dans la pièce en grande abondance, de manière à y produire un certain excès de pression, les ouver-

tures dont il s'agit donneront lieu à deux courants : l'un, d'air chaud, dirigé de dedans en dehors ; l'autre, d'air froid, dirigé en sens contraire ; et ce dernier serait, comme nous l'avons déjà vu, certainement très-incommode et souvent dangereux pour les personnes placées dans le voisinage des fenêtres. Toute ventilation par appel a nécessairement ces inconvénients ; la ventilation par insufflation seule peut produire un renouvellement d'air régulier et certain, sans produire ces veines d'air si fâcheuses. Nous reviendrons sur ce sujet, quand il sera question de la ventilation des hospices.

2604. On déterminerait facilement l'écoulement de l'air chaud

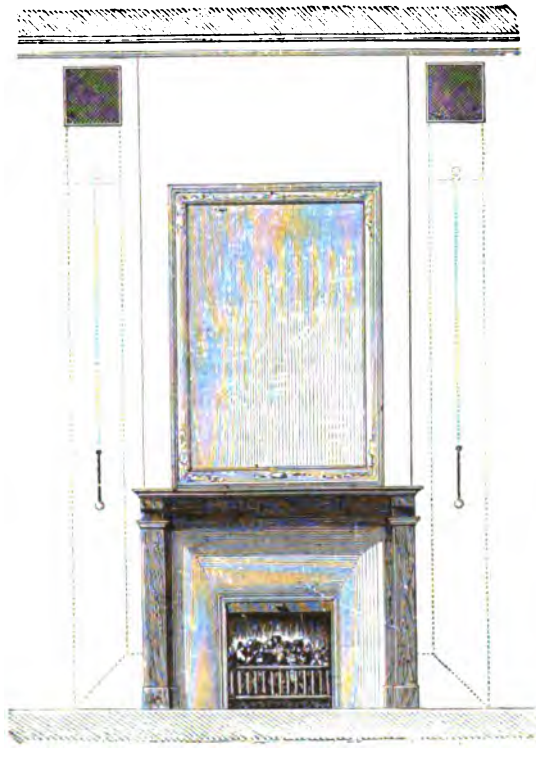


Fig. 671.

par la partie supérieure de la pièce, et avec des foyers découverts ordinaires, au moyen de la disposition indiquée par la figure 671. Deux canaux verticaux, creusés dans l'épaisseur de la muraille de chaque côté du tuyau de cheminée, s'ouvrent près du plafond dans

la pièce, et viennent déboucher par le bas, derrière les petites cloisons verticales qui rétrécissent latéralement le foyer ; les orifices supérieurs peuvent être ouverts plus ou moins par des registres glissants. Par cette disposition, le tirage de la cheminée se manifeste à la fois sur l'ouverture du foyer et sur celles voisines du plafond par lesquelles l'air descend au niveau du sol pour pénétrer latéralement dans la cheminée. L'appel direct par le foyer se réduit facilement à l'aide d'un registre, ou même en supprimant les cloisons en briques qui rétrécissent latéralement le foyer, et les remplaçant par des grilles verticales. La ventilation pourra être effectuée soit uniquement par le haut, soit uniquement par le bas, ou mieux, un peu par le bas, et en majeure partie par le haut. Le registre du bas pourrait être remplacé avec avantage par un tablier formé de petits cylindres en verre permettant de voir l'état du feu, qu'il est utile de maintenir allumé pour opérer la ventilation. L'ensemble de cette disposition consiste donc à faire servir la cheminée au chauffage pour le commencement de la soirée, et à la ventilation pour le milieu et pour la fin. Inutile d'ajouter que la section de la cheminée doit être convenablement calculée.

2605. Par exemple, pour une salle réunissant 200 personnes, en comptant, à cause des appareils d'éclairage, une ventilation de 3000 mètres cubes par heure ou de $0^{mc},83$ par seconde ; en supposant une cheminée de 10^{m} de hauteur, l'accroissement de température de la vitesse d'accès, abstraction faite des frottements, serait à peu près de 6^{m} ; si les résistances la réduisaient à moitié, elle serait seulement de 3^{m} ; la cheminée devrait avoir $0^{mq},28$ de section ; la consommation de combustible dans le foyer serait de 5 à 6 kilogrammes par heure. Malheureusement, dans toutes les maisons de nouvelle construction, les sections des cheminées sont beaucoup trop petites pour produire une ventilation suffisante ; mais la disposition indiquée serait toujours une grande amélioration à l'état actuel des choses.

Pour les salles destinées à des réunions beaucoup plus nombreuses encore, tous les foyers découverts devraient être disposés comme je viens de l'indiquer ; et comme il serait difficile d'amener la pièce à une température confortable, il conviendrait d'ajouter un calorifère dans une pièce voisine, donnant de l'air chaud dans la salle de réunion.

2606. Mais tous ces perfectionnements dans le chauffage et l'assainissement des habitations particulières ne pourront se réaliser

complétement qu'autant que les architectes s'en occuperont sérieusement : tout devient difficile quand les maisons sont construites, à cause des grandes dépenses qu'exigent les améliorations. Dans la disposition actuelle des maisons d'habitation, rien n'a été prévu pour la ventilation ; le volume d'air énorme qui s'écoule par les cheminées des appartements est uniquement fourni par les fissures des portes et des fenêtres : de sorte que l'absence de fumée dans les pièces est plutôt un accident qu'un état normal ; et quand il y a des prises d'air extérieur, leur surface libre est beaucoup trop petite, et elles débouchent derrière ou autour du foyer, de manière à alimenter la cheminée, sans produire de renouvellement d'air dans la pièce. C'est surtout dans les grandes réunions, dans les bals, les concerts, que l'absence de toute disposition relative à la ventilation se fait désagréablement sentir. Il faut espérer que les architectes finiront par comprendre la nécessité de s'occuper eux-mêmes, dans leurs projets, de toutes les dispositions qu'exigent le chauffage et la ventilation.

Les considérations que nous venons de développer dans ce chapitre suffisent pour servir de guide. Nous avons indiqué les divers modes de ventilation applicables suivant les circonstances et détaillé les appareils de chauffage qu'on peut employer pour chaque pièce.

2607. Les habitations particulières ne peuvent être chauffées que par des calorifères avec des courants qui amènent l'air chaud dans les différentes pièces, et d'où il s'écoule par les tuyaux de cheminée. Les calorifères à vapeur ne présenteraient aucun avantage ; ils sont trop compliqués, et exigent des soins continus du chauffeur. Les calorifères à eau chaude, comme je l'ai déjà dit, exigent un peu moins de surveillance quand la masse d'eau en circulation est considérable ; mais alors la température est tantôt trop basse, tantôt trop élevée, parce qu'il faut trop de temps pour la faire varier ; et, quand cette masse est réduite autant que possible, une surveillance continuelle du foyer devient indispensable. Les calorifères dans lesquels l'air est chauffé directement sont alors préférables à tous les autres, parce qu'ils coûtent beaucoup moins d'établissement, qu'ils peuvent faire varier très-rapidement la température de l'air chaud, et que les tuyaux de conduite pouvant être placés dans les murs, le refroidissement de l'air dans le trajet se trouve utilisé. Ces calorifères sont avantageux pour chauffer l'air de ventilation des appartements à une température peu élevée, le surplus de chaleur étant produit par des

appareils spéciaux placés dans les différentes pièces, appareils qui doivent principalement consister en foyers découverts, convenablement disposés.

CHAPITRE III

Chauffage et ventilation des grandes salles de réunion, palais, amphithéâtres, théâtres, etc.

Nous allons examiner les différentes dispositions employées, et les expériences qui ont été faites, en suivant à peu près l'ordre dans lequel les appareils de chauffage et de ventilation ont été établis.

Bourse de Paris.

2608. Ce chauffage, un des premiers installés en France, a été établi en 1828, d'après l'avis d'une commission composée de MM. Gay-Lussac, Thenard et Darcet. La salle de la Bourse ayant une très-grande capacité et une très-grande hauteur, un chauffage continu, à une température voisine de 15°, aurait été difficile à établir, et aurait exigé une grande consommation de combustible ; d'ailleurs, la salle n'étant occupée que pendant un petit nombre d'heures de la journée, par des personnes presque continuellement en mouvement, on ne pouvait employer qu'un chauffage intermittent. La commission, dans son projet, a cherché à satisfaire seulement aux conditions suivantes : 1° échauffer une partie du sol ; 2° verser dans la salle un volume d'air chaud suffisant pour la salubrité ; 3° produire ces effets par un chauffage rapide. Le chauffage par la vapeur était le seul qui pût satisfaire à ces conditions, et c'est celui qui a été adopté.

2609. Les chaudières à vapeur à basse pression sont placées vers l'angle sud-est de l'étage de soubassement. L'appareil de chauffage est disposé dans un caniveau pratiqué au-dessous du sol de la grande salle, au milieu et dans le pourtour des galeries. Le sol du caniveau est formé d'un dallage en pierre posé sur mortier hydraulique, et légèrement incliné, de manière à faire écouler les eaux qui pourraient s'échapper par les joints. L'appareil, placé dans ce caniveau, se compose de quatre caisses, qui occupent les quatre angles, et de trois tuyaux en fonte, qui établissent la communication des caisses. La

caisse la plus voisine de la chaudière en reçoit directement la vapeur; de cette caisse, la vapeur passe dans les autres par les tuyaux de fonte dont nous venons de parler. Les tuyaux ont 2 mètres de longueur, $0^m,16$ de diamètre intérieur, et $0^m,017$ d'épaisseur; ils reposent sur des rouleaux en fer, et chaque système de tuyaux est garni d'un compensateur placé au milieu de sa longueur. Les quatre caisses et toute l'étendue du caniveau sont recouvertes de plaques de fonte, placées à feuillure sur des pièces en fonte formant les angles supérieurs du caniveau. Des ouvertures pratiquées de distance en distance, dans le fond des caniveaux, prennent dans les caves de l'air froid, qui, après s'être échauffé autour des tuyaux, passe sous le dallage et ensuite dans la salle, et dans le vestibule d'entrée. L'appareil principal communique avec un calorifère à vapeur, placé dans le vestibule, dont la partie inférieure est garnie d'un tuyau qui s'ouvre dans les caves, et qui sert à expulser l'air lors du chauffage, et à le faire rentrer lorsque l'émission de la vapeur est suspendue. Ce tuyau est garni d'un robinet, mais il est percé, avant le robinet, d'un petit orifice. Un tuyau spécial, communiquant directement avec la chaudière, est destiné à chauffer des calorifères à vapeur placés dans différentes pièces. On avait présumé à tort, dans le principe, que les eaux de condensation pourraient retourner directement à la chaudière par les tuyaux à vapeur, en marchant en sens contraire; mais il n'en a pas été ainsi, et on a été obligé d'établir des tuyaux pour le retour de l'eau : un pour la caisse la plus éloignée de la chaudière, et d'autres pour les calorifères.

2610. La surface totale des tuyaux placés dans le caniveau de la grande salle est de 240^{mq}; celle des plaques de fonte qui ferment le caniveau est de $177^{mq},30$. Les ouvertures par lesquelles l'air chaud se dégage dans la grande salle offrent ensemble une surface de 2^{mq}. La surface de chauffe des calorifères est de 50^{mq}.

Les plaques qui ferment les caisses placées aux angles du caniveau de la grande salle, sont maintenues à une température voisine de 95°; celle des plaques de fonte qui forment le caniveau est à peu près de 50°.

2611. Le chauffage de la Bourse a été très-bien entendu et très-bien exécuté, et il a produit tous les résultats qu'on en attendait; cependant, si on avait un pareil chauffage à construire, il serait utile d'isoler les parois du caniveau dans lequel sont placés les tuyaux de fonte, afin de diminuer la transmission de la chaleur dans le sol. Il n'est pas douteux qu'on obtiendrait ainsi une petite économie.

2612. Il y a un certain nombre d'années, cet appareil a éprouvé un léger accident : les compensateurs en fonte des tuyaux n'ayant pas été graissés et soignés convenablement, les surfaces métalliques en contact se sont rouillées et ont pris une adhérence telle, qu'elles n'ont pu glisser l'une sur l'autre, et que les parois des caisses de fonte ont été brisées. On a alors remplacé chaque compensateur en fonte par deux autres plus petits en cuivre, placés l'un à la partie supérieure, l'autre à la partie inférieure des deux tuyaux qui doivent être réunis ; le premier sert au passage de la vapeur, le second à celui de l'eau. On a ainsi éloigné toute chance d'accident, mais on n'a pas supprimé les inconvénients qui résultent des négligences inévitables du service.

2613. Depuis six années, une modification importante a été faite à ces dispositions par MM. Geneste et Herscher frères ; elle consiste dans la suppression des caisses placées aux quatre angles et des compensateurs placés au milieu de chaque côté du rectangle. En deux sommets opposés du rectangle, les systèmes de trois tuyaux formant les quatre côtés du rectangle sont fixés invariablement. et ces tuyaux se dilatent au contraire librement à leur seconde extrémité. La vapeur est amenée à l'un des angles où les tuyaux sont fixés, circule dans deux côtés du rectangle et sort aux extrémités libres par de petits tuyaux qui, à chaque angle, se réunissent en un seul tuyau étroit. Chacun de ces tuyaux étroits parcourt toute la longueur de l'un des derniers côtés du rectangle et vient aboutir au second sommet fixe, où il vient, au moyen d'un coude qui facilite la dilatation, fournir la vapeur aux tuyaux formant la surface de chauffe suivant le côté du rectangle qu'il a parcouru ; ceux-ci, à leur extrémité libre, reçoivent les tuyaux de retour qui parcourent toute la longueur des deux premiers côtés du rectangle et viennent se réunir en un seul à l'angle d'arrivée de la vapeur ; de cette façon, la déformation qui résulte de la dilatation se produit exclusivement sur les tuyaux de vapeur de faible diamètre et sur les tuyaux de retour qui ne subissent qu'une flexion insignifiante. Cette disposition, depuis son installation, n'a donné lieu à aucune fuite ni à aucune réparation des tubes.

2614. Le chauffage de la Bourse fonctionne depuis plus de trente ans d'une manière très-satisfaisante, sans avoir subi d'autres modifications que celles dont nous venons de parler et le remplacement des chaudières. Les résultats obtenus ont prouvé que le chauffage à la vapeur n'est pas dangereux comme le chauffage à l'eau chaude,

n'exige pas plus de soins de la part du chauffeur, et est moins coûteux de premier établissement, parce que les surfaces de chauffe sont à une température plus élevée. En outre, les frais de chauffage sont plus faibles par la raison qu'il y a moins d'eau à échauffer chaque fois et moins de déperdition pendant la nuit. Enfin, comme nous l'avons déjà vu, pour un chauffage intermittent, la vapeur est d'un emploi plus économique que l'eau chaude.

Ancienne Chambre des communes de Londres.

2615. La disposition des appareils de chauffage et de ventilation est due à M. Reid. Les détails que je vais donner ont été extraits d'un mémoire publié par M. Reid, sur ces appareils, en 1837, et d'un ouvrage sur le chauffage et la ventilation, de M. Charles Tomlinson, qui a paru en 1850.

Le chauffage et la ventilation ont lieu par un courant d'air chauffé par des calorifères à eau chaude et qui s'élève des planchers par un grand nombre de petits orifices ; cet air arrive dans les combles du bâtiment, descend au niveau du sol par un canal extérieur, et pénètre ensuite dans une grande cheminée d'appel ayant un foyer intérieur.

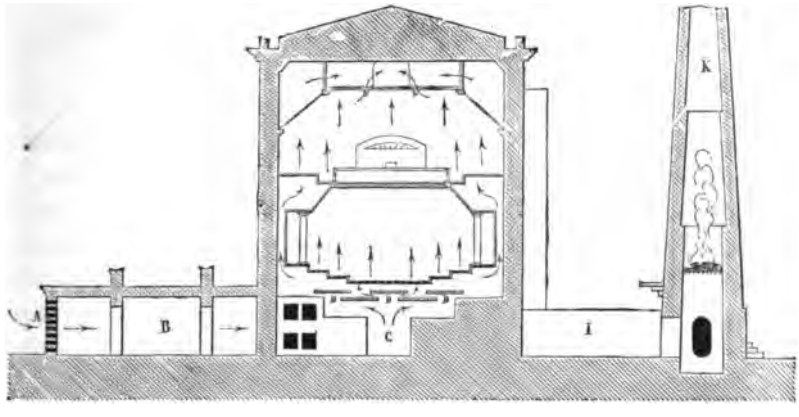


Fig. 672.

Les figures qui se trouvent dans les deux ouvrages dont je viens de parler sont de simples croquis, sans échelle, qui n'avaient pour but que de faire comprendre au lecteur les dispositions générales du système, et par conséquent ne renferment que peu de détails. Elles sont reproduites figures 672 et 673 ; la première représente une coupe

verticale de l'appareil ; la seconde, une coupe horizontale au-dessous du plancher de la chambre. A est un mur à claire-voie, à travers lequel l'air pénètre librement ; B, un espace fermé dont le plafond est soutenu par des piliers en pierre, et où l'air est purifié des matières qu'il tient en suspension en passant au travers d'étoffes à larges mailles, ou des murs de coke humide ; CC, large canal qui se trouve au-dessous de la chambre, et d'où l'air s'échappe par des orifices rectangulaires D, pratiqués au sommet du canal. L'air, en sortant des chambres B, peut arriver dans le canal CC par les orifices E et F ; le premier amène de l'air froid, le second de l'air qui a été chauffé dans les calorifères à eau chaude G ; des portes servant de registres, 1, 2, 3, 4, 5 et 6 permettent de faire varier à volonté la portion d'air qui passe à travers le calorifère. L'air, en sortant des orifices D, pénètre dans la chambre par plusieurs milliers de petits orifices, et il se divise encore davantage en traversant un tapis de crin qui recouvre le plancher. Une autre partie de l'air traverse le plancher des tribunes. L'air sort de la chambre par un grand nombre de petits orifices percés dans les lambris qui ornent le plafond, et arrive dans

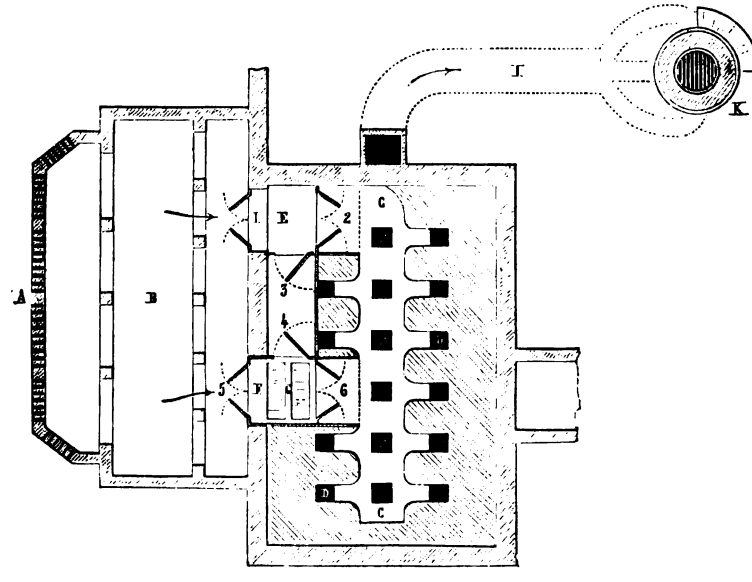


Fig. 673.

les combles, d'où il descend par un conduit vertical ; il est ensuite conduit par un canal I placé sur le sol à une cheminée d'appel K.

Cette cheminée a été construite à une distance de 20 pieds anglais ($6^m,09$) de la face du bâtiment la plus voisine; sa hauteur est de 110 pieds anglais ($33^m,44$); son diamètre est de 12 pieds ($3^m,64$) au bas de la cheminée et de 5 pieds ($2^m,43$) au sommet; la grille du foyer d'appel est placée dans l'intérieur, à 8 pieds anglais ($2^m,4$) au-dessus des sommets des orifices d'accès. Les registres placés dans le canal de descente permettent de faire varier à volonté la ventilation.

Cet appareil a fonctionné régulièrement pendant plusieurs années, la ventilation s'effectuait d'une manière très-régulière, mais il avait un inconvénient très-grave: l'air, en traversant le tapis de crin qui recouvrait le plancher, entraînait avec lui la poussière déposée sur le tapis. Il est fâcheux qu'on n'ait aucun renseignement sur le volume d'air appelé, sur la dépense de combustible, et l'échauffement de l'air par les calorifères.

Palais du Luxembourg.

2616. Ce palais était chauffé autrefois par des calorifères à air, construits par MM. Rohaut et Musard, d'après les plans de M. Talabot. En 1840, une commission nommée par le ministre de l'Intérieur, sous la présidence de M. Thenard, composée de MM. Gay-Lussac, Pouillet, Séguier, et dont je faisais partie, fut chargée d'examiner les appareils et de donner son avis sur leur efficacité. C'est du rapport de cette commission que j'ai tiré les détails qui suivent.

La partie du palais qui devait être chauffée à cette époque se composait de la salle des séances, en forme de demi-cercle, environnée d'un couloir dont le diamètre se trouve du côté de la cour, de la bibliothèque, longue galerie tangente au couloir et qui se termine aux deux pavillons en saillie sur le jardin, enfin de l'orangerie qui se trouvait au-dessous de la bibliothèque. Le chauffage avait lieu par huit calorifères placés au-dessous de la grande salle, quatre de chaque côté d'un couloir dont l'axe coïncidait avec celui des bâtiments. Chaque calorifère renfermait 30 tuyaux de fonte horizontaux, traversés simultanément par l'air, de $1^m,50$ de longueur sur $0^m,16$ de diamètre, ayant ensemble une surface de $21^{mq},60$; la grille avait 1 mètre de longueur sur $0^m,30$ de largeur. La galerie prenait l'air dans le jardin par une ouverture fermée par une grille de fer à l'ouverture du sol; au delà se trouvait une ouverture également fermée par une

grille d'une plus grande surface, destinée à conduire l'air aux calorifères. Pour le chauffage de la grande salle, l'air chaud des calorifères se rendait dans une pièce basse située au-dessous de la salle, de là sous les gradins ; il pénétrait dans la salle par des orifices de $0^m,01$ à $0^m,02$ de hauteur qui règnent dans toute la longueur des contre-marches et forment ensemble une surface de près de 4 mètres carrés. Près des orifices de sortie de l'air, les marches étaient garnies de plaques de fonte chauffées par l'air. L'air de la salle pouvait sortir par l'orifice du lustre, ou par des orifices percés à la partie supérieure des tribunes, d'où il se réunissait à l'air des couloirs, pour se rendre ensuite, par les cages des escaliers de service, sous le comble qui surmonte l'orifice du lustre, et se dégager dans l'atmosphère.

Quatre ventilateurs à force centrifuge, placés au-dessous de la chambre, étaient destinés à la ventilation d'été; ces ventilateurs, mus chacun par un homme, avaient 2 mètres de diamètre, $1^m,50$ de largeur, et communiquaient par leur centre avec la prise d'air extérieure, et par leur circonférence avec les gradins de la salle. Des caniveaux convenablement disposés conduisaient de l'air chaud à des bouches placées dans la bibliothèque, l'orangerie, le couloir et les pavillons.

2617. Des expériences nombreuses ont constaté qu'avec la ventilation par l'orifice du lustre et par les tribunes, et par une température extérieure de plusieurs degrés au-dessous de zéro, la température de la salle a été maintenue à 15° ; que la ventilation d'hiver s'est élevée à plus de 20 mètres cubes par personne et par heure, et celle d'été à 12 mètres cubes. Mais le chauffage de la bibliothèque, du couloir et de l'orangerie était insuffisant, à cause du refroidissement que l'air chaud éprouvait en parcourant les canaux qui le conduisaient aux bouches de dégagement.

Les conclusions de la commission ont été, 1° que le chauffage et la ventilation de la salle des séances étaient satisfaisants ; 2° que le chauffage des autres parties du bâtiment était insuffisant.

2618. Dans le système de chauffage et de ventilation adopté par M. Talabot, le mode de renouvellement de l'air de la salle était très-bien entendu, et certainement le meilleur qu'on puisse employer, car chaque personne assise dans la salle recevait un courant d'air particulier qui s'élevait autour d'elle pour ne plus revenir, et par conséquent l'air qu'elle respirait était toujours parfaitement pur. La ventilation d'hiver s'effectuait d'elle-même par la force ascension-

nelle de la colonne d'air chaud, ayant pour hauteur la distance des calorifères à l'orifice du lustre. Mais la ventilation d'été exigeait une surveillance des hommes chargés de faire mouvoir les ventilateurs, et à cause de cette circonstance la ventilation parut, bien à tort, moins certaine que celle qui provient des cheminées d'appel. Il aurait été facile d'établir dans la pièce des appareils de vérification du travail. Dans le choix du mode de chauffage, M. Talabot a été guidé par ce principe, qu'il fallait avant tout chauffer tous les bâtiments. Ce principe est vrai, mais à la condition de chauffer d'abord les parties supérieures du bâtiment, car alors la transmission à travers le sol est négligeable ; mais si on veut effectuer le chauffage d'un bâtiment par de l'air chaud circulant dans des caniveaux pratiqués dans le sol, la perte de chaleur devient très-considérable ; c'est ce qui résulte des expériences faites sur les bouches de chaleur du canal d'air chaud de l'orangerie. Ce canal établi dans le sol avait pour section un carré de $0^m,80$ de côté ; il recevait au milieu de sa longueur de l'air qui, en partant du calorifère, était à une température de 140° ; il se divisait ensuite en deux branches, qui se prolongeaient au delà de l'orangerie dans les deux pavillons, et sur sa longueur, il portait des bouches pour l'écoulement de l'air chaud ; à celle du centre, l'air chaud sortait à 95°, à des distances de 6^m, 12^m, 18^m, 24^m, les températures étaient réduites à 65°, 55°, 47°, 27° ; au delà, dans les pavillons, l'air sortait froid.

2619. Par suite de ce rapport, la même commission fut chargée de donner son avis sur le mode de chauffage et de ventilation le plus convenable pour le palais. Mon avis était de mettre la question au concours, mais il ne fut pas partagé par la commission, qui adopta un projet présenté par M. Duvoir-Leblanc. Ce projet, modifié sur plusieurs points par la Commission, consistait à établir, à la place de huit calorifères, deux chaudières à eau chaude en tôle ; de ces chaudières devaient partir deux tuyaux d'un grand diamètre qui s'élèveraient par le chemin le plus court dans les greniers des deux pavillons neufs qui donnent sur le jardin et aboutiraient chacun à un vase d'expansion fermé par une soupape chargée d'un poids correspondant à un excès de pression et 1 atmosphère et demie. De chacun de ces vases devaient partir vingt tuyaux de retour, en cuivre, garnis de robinets, alimentant des poêles placés dans les différentes pièces, et circulant dans des canaux destinés au chauffage de l'air. Le mode de renouvellement de l'air dans la salle des séances ne devait pas être changé, et l'orifice du lustre devait être surmonté d'une che-

minée dans laquelle se trouverait un poêle à eau chaude, chauffé par un foyer spécial. Le devis des frais d'établissement s'élevait à 180 000 francs. M. Duvoir s'engageait à ne pas dépasser ce devis, et se soumettait à faire régler toutes les dépenses, suivant la méthode ordinaire, à l'exception des deux calorifères, dont le prix était fixé à 20 000 francs; à se charger pendant douze ans du chauffage, sous la condition de maintenir dans la chambre et dans les vestiaires, pendant les séances, une température de 18°, une température de 15° dans toutes les pièces habitées et dans la bibliothèque, une température de 12° dans toutes les pièces qui ne servent que de passage, et 10° seulement dans l'orangerie; de ventiler la salle des séances de manière à y faire passer de 7000 à 8000 mètres cubes d'air par heure, en hiver et en été; moyennant 35 francs par jour de chauffage pour un chauffage continu de 7 mois, plus 5 fr. par jour de séance d'hiver, 10 fr. par jour de séance d'été, et 15 fr. en sus pour les jours de séance d'été, si l'on veut refroidir l'air de ventilation; enfin à remettre, après douze ans, les appareils en bon état, moyennant une somme annuelle de 2000 fr., pour les frais d'entretien.

2620. D'après cela, en supposant 7 mois de chauffage, 30 séances d'hiver et 10 séances d'été, le chauffage, la ventilation et l'entretien des appareils coûteraient annuellement 9600 fr., tandis que le chauffage qui avait lieu par les appareils que nous avons décrits d'abord, par de petits calorifères distribués dans le bâtiment, et par des cheminées, chauffage incomplet et insuffisant sur beaucoup de points, aurait coûté, d'après quelques renseignements, 33 500 francs, et environ 10 000 francs d'entretien. A la vérité, dans un certain nombre de pièces, on devait conserver des feux de cheminées qui exigeraient une certaine dépense, mais l'établissement du nouvel appareil devait produire une économie considérable, même en tenant compte de l'intérêt du capital dépensé.

Les chiffres pris comme point de comparaison par la commission étaient ou le résultat d'une confusion ou d'une mauvaise administration, car le chauffage par calorifère à air chaud et poêles revient évidemment à meilleur marché que le chauffage à l'eau chaude.

2621. Les pièces qui devaient être échauffées ont ensemble un volume de 60 000 mètres cubes; les murs ont de $0^m,50$ à $0^m,60$ d'épaisseur, leur surface totale est de 7 870 mètres, les surfaces des fenêtres sont de 3 770 mètres; en prenant 15° pour la température de l'air dans les pièces, 6° pour la température moyenne des sept mois de chauffage, la quantité moyenne de chaleur transmise par

NATURE DES COMBUSTIBLES. Tous les nombres du tableau se rapportent à 1 kilogramme du combustible brûlé.	COMPOSITION DU COMBUSTIBLE — SANS EAU NI CENDRES. Carbone.	Hydrogène.	Oxygène et azote.	MARCHAND. Carbone.	Hydrogène.	Oxygène et azote.	Eau hygrométrique	Cendres.	PUISSANCE CALORIFIQUE DU COMBUSTIBLE — PUR. L'eau des produits de la combustion se condensant.	MARCHAND. Avec condensation de la vapeur d'eau.	Sans condensation de la vapeur d'eau.	AIR à 45°, sous de mercur quarts saturé saire à — TOUT L'OXYGÈNE étant consommé. Volume.	Poids.
												m³	k
Carbone pur transformé en CO^2	1.000	»	»	»	»	»	»	»	8080	»	»	9.600	11.6[illegible]
Carbone pur transformé en CO	1.000	»	»	»	»	»	»	»	2473	»	»	4.800	5.[illegible]
Hydrogène pur	»	1.000	»	»	»	»	»	»	34462	»	29000	28.800	34.9[illegible]
Bois vert ou sciure de bois, à 50 p. 100 d'eau	0.510	0.061	0.429	0.250	0.030	0.210	0.500	0.010	4465	2151	1702	2.515	3.0[illegible]
Bois contenant 30 p. 100 d'eau	0.510	0.061	0.429	0.350	0.042	0.294	0.300	0.014	4465	3069	2658	3.504	4.2[illegible]
Bois desséché à 150°	0.510	0.061	0.429	0.500	0.060	0.420	»	0.020	4465	4384	4044	5.030	6.10[illegible]
Tannée à 48 p. 100 d'eau	0.510	0.061	0.429	0.244	0.029	0.205	0.480	0.042	4465	2075	1643	2.429	2.9[illegible]
Tourbe	0.575	0.065	0.360	0.390	0.045	0.245	0.250	0.070	5355	3667	3340	4.147	5.0[illegible]
Lignite imparfait	0.650	0.050	0.300	0.533	0.041	0.246	0.080	0.100	6400	5248	5026	5.405	6.[illegible]
Lignite parfait	0.730	0.050	0.220	0.600	0.041	0.179	0.080	0.100	7100	5822	5641	6.307	7.0[illegible]
Lignite bitumineux	0.770	0.080	0.150	0.631	0.066	0.123	0.080	0.100	7900	6478	6315	7.526	9.1[illegible]
Houille sèche à longue flamme	0.780	0.050	0.170	0.686	0.044	0.160	0.040	0.080	8200	7216	7068	7.276	8.8[illegible]
Houille grasse à longue flamme	0.830	0.050	0.120	0.730	0.039	0.111	0.020	0.100	8700	7656	7533	7.728	9.3[illegible]
Houille grasse maréchale	0.880	0.050	0.070	0.775	0.044	0.061	0.020	0.100	9100	8008	7932	8.476	10.2[illegible]
Houille grasse à courte flamme	0.890	0.050	0.060	0.783	0.044	0.053	0.020	0.100	9400	8272	8200	8.582	10.40[illegible]
Houille maigre ou anthraciteuse	0.920	0.040	0.040	0.810	0.035	0.035	0.020	0.100	9100	8008	7954	8.668	10.51[illegible]
Anthracite (pays de Galles et Pensylvanie)	0.940	0.030	0.030	0.884	0.028	0.028	0.020	0.040	8500	7990	7943	9.177	11.13[illegible]
Charbon de bois	0.890	0.030	0.080	0.810	0.027	0.073	0.060	0.030	7880	7164	6987	8.035	9.7[illegible]
Coke (bonne qualité)	0.975	0.005	0.020	0.907	0.005	0.018	0.020	0.050	7964	7382	7356	8.793	10.67[illegible]
Huile de pétrole (Virginie occidentale)	0.835	0.133	0.032	0.835	0.133	0.032	»	»	10180	10180	9457	11.731	14.20[illegible]
Huile lourde du gaz parisien	0.820	0.076	0.104	0.820	0.076	0.104	»	»	8916	8916	8501	9.686	11.7[illegible]
COMBUSTIBLES GAZEUX.	CO	H	C^2H^4	C^4H^4	O	CO^2	Az						
Oxyde de carbone	100.00	»	»	»	»	»	»	»	»	2403	»	2.055	2.49[illegible]
Gaz d'éclairage	15.6	8.8	47.3	14.4	1.4	5.8	6.7	»	»	11293	10269	11.467	13.83[illegible]
Gaz des hauts-fourn. — Gaz produits par les gazogènes — à la sciure de bois	20.80	0.87	2.40	»	»	19.60	56.33	»	»	1113	1012	1.0[illegible]	1.24[illegible]
à la tourbe	22.00	0.55	»	»	»	14.56	62.89	»	»	718	688	0.610	0.739
à la houille (Siemens)	25.89	0.62	1.33	»	»	7.03	65.13	»	»	1010	959	0.916	1.10[illegible]
au charbon de bois	33.74	0.20	»	»	»	0.80	65.26	»	»	880	869	0.769	0.933
au coke	33.82	0.11	»	»	»	1.16	64.91	»	»	851	845	0.726	0.882
au charbon de bois	23.27	0.30	0.80	»	»	17.64	57.99	»	»	767	740	0.680	0.824
au coke	26.42	0.09	0.18	»	»	18.30	55.01	»	»	689	682	0.592	0.711
à la houille crue	28.06	0.48	2.18	0.43	»	12.45	56.49	»	»	1175	1016	1.085	1.31[illegible]

[1] Les nombres marqués d'un * doivent être compris entre 800 et 1100°; les valeurs obtenue

de la combustion pour les combustibles usuels.

COMBUSTION DU COMBUSTIBLE MARCHAND.								NOMBRE DE CALORIES emportées par les produits de la combustion. (La vapeur d'eau n'étant pas condensée.)				TEMPÉRATURES MAXIMA produites par le combustible marchand.			
pression de 0m,760 et sous trois vapeur d'eau, nécessaire combustion.		VOLUME de la vapeur d'eau produite par la combustion.		VOLUME DES GAZ produits par la combustion.								TOUT L'OXYGÈNE étant consommé		LES 2/3 DE L'OXYGÈNE étant consommés, sans tenir compte de la dissociation, mais en supposant un rayonnement de	
LES 2/3 DE L'OXYGÈNE étant consommés.				TOUT L'OXYGÈNE étant consommé.		LES 2/3 DE L'OXYGÈNE étant consommés.		TOUT L'OXYGÈNE étant consommé.		LES 2/3 DE L'OXYGÈNE étant consommés.		sans tenir compte de la dissociation.	la fraction de dissociation est égale à 0,50.		
Volume.	Poids.	à 150°.	à 300°.	à 150°.	à 300°.	à 150°.	à 300°.	à 150°.	à 300°.	à 150°.	à 300°.			0,30	0,50
m³	k	m³	m³	m³	m³	m³	m³								
16.100	17.479	»	»	14.112	19.200	21.168	28.800	459	911	648	1310	2856	1758	»	»
»	»	»	»	8.521	11.512	»	»	255	509	»	»	1628	»	»	»
43.200	52.340	17.748	24.046	51.016	69.360	72.184	98.160	6700	8318	7262	9503	2682	1439	»	»
3.772	4.578	1.496	2.027	5.147	6 994	6.992	9.510	615	767	665	879	1342	-134*	730	520
5.226	6.379	1.307	1.770	6.457	8.748	9.466	12.822	602	774	671	918	1675	327*	890	625
7.545	9.159	1.064	1.442	8.286	11.405	11.983	16.435	586	757	684	966	1959	874*	1015	725
3.643	4.420	1.140	1.950	4.973	6.758	6.758	9.186	593	759	641	860	1335	-224*	725	511
6.205	7.551	1.280	1.735	7.237	9.841	10.245	13.988	608	850	682	1020	1955	594*	935	670
8.108	9.837	0.881	1.194	8.724	11.865	12.696	17.220	542	824	648	1048	2505	1307	1192	851
9.560	11.525	0.881	1.194	9.972	13.563	14.608	19.871	578	899	699	1163	2589	1359	1286	918
11.289	13.683	1.325	1.796	11.921	16.214	17.453	23.740	769	1249	917	1441	2490	1227	1263	902
10.914	12.239	0.858	1.162	11.329	15.409	16.607	22.685	616	982	758	1285	2789	1693	1379	986
11.592	14.061	0.730	0.990	11.858	16.131	17.538	23.859	596	975	747	1296	2850	1825	1403	1002
12.714	15.418	0.819	1.110	12.950	17.617	19.181	26.094	656	1168	822	1420	2964	1751	1424	1017
12.873	15.612	0.819	1.110	13.093	17.816	19.405	26.399	660	1021	829	1377	3107	1821	1480	1057
13.000	15.771	0.659	0.894	13.119	17.848	19.492	26.517	615	1035	786	1295	2970	1764	1416	1012
13.765	16.699	0.535	0.725	13.807	18.783	20.553	27.961	602	1045	783	1419	2825	1652	1343	959
12.052	14.626	0.594	0.806	12.317	16.756	18.237	24.791	584	969	743	1303	2748	1511	1319	942
13.189	16.009	0.127	0.172	13.025	17.603	20.140	27.406	459	875	633	1241	2567	1684	1245	889
17.596	21.307	2.360	3.198	18.434	25.080	27.056	36.804	1270	1859	1501	2345	2457	1360	1195	»
14.529	17.611	1.348	1.827	15.011	20.419	22.131	30.105	874	1354	1054	1756	2545	1635	1198	»
3.083	3.073	»	»	3.704	5.040	5.157	7.016	120	240	160	324	2981	1483	»	»
17.170	20.751	4.029	5.458	19.054	25.915	27.459	37.648	1763	2370	1987	2843	2593	1400	»	»
1.548	1.873	0.266	0.361	2.633	3.589	3.774	4.605	153	244	172	271	1656	462*	»	»
0.915	1.108	0.098	0.132	2.084	2.699	2.420	3.292	86	146	97	171	1630	457*	»	»
1.374	1.665	0.177	0.240	2.470	3.361	2.923	4.256	126	204	144	241	1636	691*	»	»
1.153	1.399	0.035	0.048	2.163	2.943	2.694	3.725	76	145	91	177	1885	748*	»	»
1.090	1.322	0.020	0.026	2.120	2.885	2.642	2.585	70	136	84	166	1809	685*	»	»
1.020	1.236	0.099	0.120	2.055	2.796	2.542	3.458	88	154	101	182	1685	441*	»	»
0.888	1.066	0.023	0.033	1.885	2.562	2.301	3.132	64	124	75	148	1476	309*	»	»
	1.972	0.215	0.284	2.678	3.644	3.461	4.708	138	223	159	269	1768	690*	»	»

indiquent que l'hypothèse adoptée relativement à la dissociation est pour eux inexacte.

heure serait de 7870 . 16,23 + 3770 . 23 = 190830 calories qui, en supposant un effet utile de 5000 unités par kilogramme de houille, correspondent à 38^k, par heure moyenne de chauffage; alors, pour huit heures de chauffage réel et une perte équivalente pendant les interruptions, la quantité moyenne de combustible consommé par jour serait de 2 . 8 . 38 = 608^k, qui, à raison de 4 fr. les 100^k de houille, prix maximum à cette époque, élèverait la dépense de combustible à 24^f,32 ; et cette somme est même trop élevée, parce que les dépenses sont faibles les jours fériés, que les pièces ne sont maintenues aux températures indiquées que quand elles sont occupées, que la conductibilité des murailles est diminuée par les boiseries et les tapisseries, et celle des vitres par les rideaux. Ainsi la somme accordée à l'entrepreneur était bien suffisante pour les frais de chauffage, le salaire du chauffeur, et le bénéfice qu'il devait retirer de son entreprise. La somme demandée pour la ventilation d'hiver pendant les séances était fort élevée, car, en supposant une séance de 4 heures, le volume d'air chaud serait de 16^{mc} chauffés moyennement de 9°, ce qui correspond à 16000 . 1,3 . 9 . 0,24 = 44928 calories ou à peu près à 9^k de houille ou à 9 . 0,04 = 0^f,36, et l'entrepreneur demandait 5 francs. Le prix de la ventilation d'été était aussi fort exagéré, car avec la somme de 10 francs qui correspondait à 250^k de houille, les 16000 mètres cubes d'air auraient pu être échauffés de plus de 500° dans la cheminée d'appel ; or, en admettant que la cheminée eût seulement 1^{mq} de section, la vitesse d'écoulement serait de 4000 : 3600 = 1^m,11 ; et en supposant que la cheminée eût seulement 4^m de hauteur, que l'air de la salle fût à 15°, l'accroissement de température dans la cheminée serait à peine de 20°. Quant à la proposition relative au refroidissement de l'air, il aurait fallu savoir à quel degré l'air extérieur aurait été amené et les moyens qui auraient été employés.

2622. Le projet de M. Duvoir-Leblanc, modifié par la commission, a été accepté : les appareils ont été construits ; mais, n'ayant pas eu l'occasion de suivre depuis la marche des appareils installés, je citerai le rapport d'une commission nommée par le gouvernement belge, pour étudier les différents systèmes de chauffage et de ventilation établis en France. Cette commission était composée de M. Lacambre, ingénieur, et de M. Désiré Limbourg, architecte. Voici ce qu'on lit à la page 12 de leur rapport :

« Par ce système, tel que Duvoir-Leblanc l'a établi au palais du Luxembourg (Chambre des pairs), au palais du quai d'Orsay, à l'hos-

pice de Charenton, à l'église de la Madeleine, etc., il existe des récipients d'eau d'une capacité remarquable, de sorte qu'on emploie un volume d'eau considérable (à la Chambre des pairs il est de 70000 litres), ce qui rend le chauffage lent et susceptible de peu de variations; inconvénient grave pour des locaux qui ne doivent être chauffés que quelques heures de la journée. Ces masses d'eau, élevées à la température de 120 à 140° centigrades, peuvent donner lieu à des dangers, bien que tous les appareils soient essayés, avant leur placement, à une forte pression. S'il arrivait un accident, il serait d'autant plus grave que, la plupart des poêles communiquant entre eux, il en résulterait de grandes fuites d'eau bouillante, dont une partie se réduirait immédiatement en vapeur. A ces défectuosités évidentes nous devons en ajouter d'autres, qui consistent principalement : 1° dans la grande pression exercée sur les générateurs, qui, dans certains moments, s'élève à plus de 4 atmosphères; 2° dans la mauvaise répartition des tubes afférents, qui ne distribuent pas uniformément la chaleur dans chaque pièce, ce qui cause, tantôt un excès de chaleur dans une pièce, tandis que dans une autre il y a quelquefois absence complète de dégagement de chaleur; 3° dans l'économie mal entendue de l'emploi de l'air chauffé au contact de la chaudière et du fourneau pour le chauffage de l'hémicycle de la Chambre des pairs et de la salle du conseil au palais d'Orsay, qui dégage, comme dans les appareils à air chaud, cette odeur insalubre, provoquant actuellement, de la part de MM. les membres de notre Chambre des représentants, des plaintes justes et méritées; 4° dans l'absence des dispositions convenables pour interrompre à volonté le chauffage de certaines pièces, sans déranger le chauffage des autres pièces; 5° enfin, dans le mauvais effet des poêles à eau chaude, par suite de leur forme lourde et désagréable, et de la place qu'ils occupent. Ces défauts, du reste, nous ont été signalés par M. le duc Decazes, grand-référendaire de la Chambre des pairs, qui a bien voulu nous faire connaître qu'en somme, messieurs ses collègues n'étaient pas satisfaits du chauffage actuel, et que la détermination a été prise de faire exécuter, pendant les vacances prochaines, les travaux nécessaires pour parvenir à faire disparaître les défectuosités dont il s'agit, et ramener ce chauffage au degré de perfection désirable. » Plus loin, à la page 22, on trouve ce qui suit : « Quant à la ventilation d'été, qu'on est occupé de rétablir (on la modifiait, lors de notre visite au palais), elle a lieu au moyen d'un foyer placé au-dessus de la salle, dans le comble même du bâtiment. Ce foyer

est surmonté d'un appareil plein d'eau, qui, chauffé par rayonnement, est en communication directe avec le lanterneau de la salle, distant de ce foyer de 2 mètres environ. Le foyer et l'appareil sont environnés d'une chemise en maçonnerie, surmontée d'une cheminée; de sorte que la ventilation se fait par le haut, de même qu'au palais de la Nation; excepté qu'à Paris, la ventilation, au lieu d'être libre comme à la Chambre des représentants, est activée par l'appel du foyer, dont la température est modérée par la chaudière pleine d'eau. Il paraît que l'on avait fini par supprimer toute ventilation dans cette salle. »

Palais-Bourbon.

2623. La salle de l'ancienne Chambre des députés à Paris était chauffée au moyen de calorifères à air chaud d'abord établis par M. Talabot; l'air chaud se rendait dans la salle par des orifices placés dans les contre-marches des bancs, et l'air vicié était appelé par des ouvertures disposées dans le plafond des tribunes, d'où il se rendait dans une vaste cheminée renfermant un foyer à coke.

Les dispositions relatives au chauffage et à la ventilation du palais furent modifiées d'après les indications d'une commission dont faisaient partie MM. le général Morin et Combes, membres de l'Institut, Callon, ingénieur en chef des mines, et Tresca, sous-directeur des Arts-et-Métiers. Les résultats du travail de cette commission sont consignés dans le tome IX du Conservatoire des arts et métiers; nous en donnons le résumé.

La capacité totale à chauffer était de 20 342 mètres cubes, dont 11 354 pour la salle d'assemblée et ses dépendances et le reste pour différents salons et salles de réunion ou de conférences. L'introduction de l'air neuf se fit dans la salle dans toute l'étendue des corniches et par dix-neuf des caissons du plafond. Cet air arrivait du dehors par un conduit vertical de 20 mètres de hauteur et de 8^{mq}, 33 de section, et était amené dans une chambre de mélange après avoir traversé quatre calorifères céramiques; une partie de l'air entre froid dans la chambre, les arrivées sont réglées au moyen de registres de façon à ce que la température moyenne de l'air soit de 20°, les ouvertures d'introduction ont une surface totale de 17^{mq},91. L'évacuation se fait par des orifices en grand nombre, distribués au plancher de la salle, dans les gradins, sous les banquettes, au pourtour, dans les tribunes, etc. Leur section totale est de 14^{mq},49, l'air vicié se rend dans trois canaux collecteurs dont deux

pour la salle et un pour les salons et de là à la cheminée ; des registres placés sur les collecteurs permettent de régler l'évacuation. Dans un cabinet placé au niveau du couloir se trouvent réunis tous les moyens de manœuvre des registres d'accès et d'évacuation, d'observations des températures dans le conduit de l'air neuf et dans la cheminée d'évacuation, de détermination de la marche d'un anémomètre à compteur électrique donnant le volume d'air introduit dans la salle. L'air neuf circulant dans un canal souterrain avant son arrivée dans la chambre de mélange se rechauffait dans les temps froids et se refroidissait pendant l'été ; la ventilation étant intermittente, l'action du canal souterrain était effective, mais il n'en eût pas été de même s'il se fût agi d'une ventilation continue, car alors les parois du canal se fussent bientôt mis en équilibre de température avec l'air introduit. En hiver, la température a pu être réglée à une valeur uniforme de 18°, la température de la salle ne s'élevant que de 1 à 2° pendant toute la durée des séances ; quand la température extérieure devenait 14° en moyenne, la température a varié de 18 à l'ouverture, à 21 ou 22° à la fin des séances ; quand la température extérieure a été de 20 à 21°, la température intérieure de 18° à l'ouverture s'est élevée à 24°,7 à la fin des séances ; enfin, dans les jours très-chauds où le thermomètre marquait 28° et quelquefois plus à l'extérieur, la température de la salle à la fin des séances était encore inférieure de 2 à 3° dans les tribunes, et de 3 à 4° dans la salle à celle de l'extérieur. Pour arriver à obtenir ce résultat, on était obligé d'activer l'appel en été; la température extérieure étant de 28°,8 l'air dans la cheminée avait un excès moyen de température de 31°,4, tandis qu'en hiver il suffisait d'un excès de 20 à 25°.

Les dispositions adoptées permettaient de produire un renouvellement d'air de 60000 mètres cubes par heure, mais on fut conduit à limiter ce renouvellement à 14000 mètres cubes par heure en hiver, et 18000 en été ; la vitesse d'introduction de l'air variait de $0^m,25$ à $0^m,30$.

Palais du quai d'Orsay.

2624. Ce palais, occupé autrefois par le Conseil d'État et par la Cour des comptes, est actuellement détruit, il renfermait des pièces dont le volume total était d'environ 60,000 mètres cubes. Il était chauffé par un appareil à eau chaude, construit par M. Léon Duvoir.

qui s'était engagé à maintenir dans les pièces une température de 15°, moyennant une somme de 30 francs par jour de chauffage, salaire du chauffeur compris.

D'après le rapport de la commission d'architecture chargée de la réception, l'appareil de chauffage se composait d'une chaudière en tôle cylindrique verticale, renfermant le foyer, et percée à la partie supérieure d'une ouverture pour le dégagement des gaz brûlés, qui traversaient pareillement quatre cylindres en fonte de $0^m,50$ de diamètre, du centre à la circonférence, et de la circonférence au centre ; ces cylindres renfermaient des tuyaux de $0^m,11$ de diamètre, parcourus par un courant d'air venant de l'extérieur. De la partie supérieure de la chaudière, partait un tube qui montait au point le plus élevé, où il se terminait par le vase d'expansion. Ce tube ascendant était environné d'un tuyau de zinc, d'une section dix fois plus grande, et environné de foin ; l'air extérieur s'échauffait dans ce tuyau, et passait ensuite dans les pièces à échauffer ; le tube revenait à la chaudière en traversant des poêles. Ces dispositions sont peu convenables ; le mouvement ascendant de l'air brûlé dans les appareils de chauffage est peu favorable à l'utilisation des surfaces de chauffe, parce que l'air brûlé suit toujours le chemin le plus court ; le chauffage de l'air ne devrait pas avoir lieu autour du tuyau ascendant, parce que le refroidissement de l'eau diminue la vitesse de circulation ; c'est évidemment sur le tuyau de descente qu'il fallait effectuer le chauffage. De plus, il y a entre deux séances une perte notable de la chaleur des poêles et de l'appareil. La ventilation laissait de même beaucoup à désirer. La grande salle du Conseil d'État était ventilée par des orifices pratiqués dans le sol, près des fenêtres, et communiquant avec un canal qui venait s'ouvrir dans le cendrier de la chaudière à eau chaude. Mais, comme nous l'avons déjà vu, par l'appel d'un foyer qui sert en même temps au chauffage, on ne peut produire qu'une ventilation insignifiante et variable, ou une ventilation très-chère, en ne recouvrant pas entièrement la grille de combustible.

2625. Malgré ces défauts, le chauffage de ce palais a été l'objet d'un rapport très-favorable de la commission d'architecture, rapport qui prouve combien il est nécessaire d'introduire dans l'éducation des architectes quelques notions sur la physique et sur les appareils de chauffage, et surtout combien il est fâcheux que les administrations et l'État laissent aux architectes l'appréciation des systèmes de chauffage et de ventilation. Je citerai seulement deux

phrases du rapport : « *Dans l'appareil de M. Duvoir-Leblanc, il n'est pas besoin de plus de feu que celui qui serait nécessaire pour faire bouillir de l'eau.* Ainsi, d'après cela, la quantité de chaleur nécessaire pour produire de la vapeur serait indépendante de la quantité de vapeur produite. *La chaleur ne se dissipe que par les portes et les fenêtres.* » Le rédacteur n'a pas ajouté quand elles sont ouvertes ; mais cela résulte de la lecture du rapport. J'ai lu bien des rapports extraordinaires, mais aucun de comparable à celui dont il est question.

Grand amphithéâtre du Conservatoire des arts et métiers.

2626. Le chauffage et la ventilation de cette grande salle, qui peut contenir plus de huit cents personnes, avait aussi lieu par des appareils construits par M. Duvoir-Leblanc. Leurs effets ont été étudiés par M. le général Morin, directeur du Conservatoire, et les résultats de ses observations ont fait l'objet d'un long mémoire inséré dans les comptes rendus de l'Académie des sciences du 26 avril 1852. Voici d'abord, d'après ce rapport, la disposition des appareils.

2627. *Dispositif de l'appareil de ventilation du grand amphithéâtre du Conservatoire.* — La ventilation de ce vaste local, dans lequel se trouvent rassemblés, le soir, des auditeurs au nombre de sept à huit cents et même plus, et qui, chauffé de façon que, quand deux cours se succèdent avec des auditoires parfois très-différents en nombre, la température doive y rester sensiblement la même, présentait d'assez grandes difficultés.

« Un premier dispositif adopté, il y a quelques années, n'avait pas complétement réussi. Les conduits d'aspiration n'avaient guère que $0^{mq},65$ de surface totale de section, et la cheminée $0^{mq},49$, et il n'y avait pas d'appel à la partie supérieure. Par suite de ces proportions trop restreintes, la température s'élevait considérablement, et l'air était vicié dans la partie supérieure de l'amphithéâtre. Plusieurs fois des auditeurs avaient été incommodés. Je m'entendis avec M. l'architecte du Conservatoire, et une modification des dispositions employées fut demandée à M. Léon Duvoir. J'indiquerai en peu de mots le nouveau dispositif.

2628. « Le grand amphithéâtre du Conservatoire est chauffé, pendant les heures des cours publics, à une température qui ne doit pas être inférieure à 15°, d'après les termes du marché, et qui s'élève habituellement à 20° quand il contient huit cents per-

sonnes, ainsi que cela arrive habituellement pour certains cours. Il faut que la température soit sensiblement la même dans toutes les parties de l'amphithéâtre, au bas et au sommet ; de plus, il importait d'extraire, sans gêner l'auditoire, une quantité d'air suffisante pour enlever toute émanation désagréable.

« Pour y parvenir, M. Léon Duvoir a ouvert, vers le bas des gradins de l'amphithéâtre, sous les jambes des auditeurs, des orifices d'appel qui sont en communication avec des conduits pratiqués sous les gradins. Ces orifices sont au nombre de 39, dont 34 ont $0^m,08$ sur $0^m,20$ et sont répartis sur les deux tiers de la hauteur de l'amphithéâtre, et dont les 5 autres sont situés sous le premier gradin et ont $0^m,15$ sur $0^m,60$ d'ouverture. Tous ces conduits se réunissent dans une pièce située sous l'amphithéâtre et qui contient le calorifère à eau chaude. Dans cette pièce et à $0^m,58$ au-dessus du sol s'ouvrent 4 bouches d'appel prolongées par autant de conduits verticaux qui se réunissent en un seul tuyau horizontal communiquant à une grande cheminée d'appel, au bas de laquelle se trouve un foyer qu'on n'allume qu'en cas de besoin.

« Des tuyaux à circulation d'eau chaude, avec des parties renflées, appelées bouteilles, passent dans le fond du conduit horizontal pour en chauffer l'air et produire l'aspiration.

« La cheminée verticale contient deux tuyaux en fonte, l'un qui communique au fourneau d'une machine à vapeur, et l'autre, toujours chaud, qui sert de commencement de cheminée au calorifère.

« Ces deux tuyaux sont raccordés avec deux autres plus petits qui forment la cheminée du petit calorifère auxiliaire, employé pour déterminer ou accélérer au besoin l'appel d'air. En outre, il a été établi, au plafond de l'amphithéâtre, au-dessus de la partie la plus élevée des gradins, une large bouche d'appel qui communique avec un tuyau horizontal, lequel débouche dans la grande cheminée.

2629. « Les sections de passage de l'air expulsé de l'amphithéâtre sont les suivantes :

Orifice d'appel dans la chambre du foyer, à 0m 50 au-dessous de l'entrée.....	N° 1. A gauche en entrant.....	0,560.0,500 = 0m,280000
	N° 2. A droite en entrant.....	0,618.0,480 = 0m,296440
	N° 3. A gauche près du foyer.. ..	0,587.0,514 = 0m,301718
	N° 4. A droite près du foyer.....	0,543.0,524 = 0m,284532
Tuyau au-dessus de l'amphithéâtre, 0,700 sur 0,700.....		0m,49
Aire totale des orifices d'appel.....		1m,652890

CHEMINÉE D'APPEL.

Section prise à hauteur du regard, 1m,100 sur 1m,030.....	1m,133000
A déduire pour la section des tuyaux de fonte.....	0m,187000
Section libre de passage...	0m,946000

« Ainsi, la section de la cheminée n'est que les 0,946 : 1,653 = 0,57 de celles des orifices d'appel, ce qui nécessite une accélération de la vitesse au débouché des conduits dans la cheminée. On conçoit cependant qu'il est difficile d'éviter cet inconvénient sans être conduit à donner à la cheminée des dimensions bien considérables et bien dispendieuses. »

2630. Il résulte de cette description, et de renseignements pris sur les lieux, que l'appareil de chauffage et de ventilation est disposé de la manière suivante :

Au bas de l'amphithéâtre et de chaque côté de la table du professeur se trouve un poêle à eau chaude à travers lequel s'élève un courant d'air chaud provenant de l'extérieur ; cet air chaud s'élève d'abord à la partie supérieure, se rend dans une cheminée d'appel 1° par une ouverture pratiquée à la hauteur du plafond ; 2° par des orifices percés dans les faces verticales des bancs et qui communiquent avec le dessous de l'amphithéâtre. De là, quatre tuyaux le conduisent sous la grille d'un foyer placé au bas de la cheminée d'appel ; dans le chemin, l'air est échauffé par des tuyaux à eau chaude. La cheminée d'appel renferme deux cheminées en fonte d'une petite hauteur, pour l'écoulement de la fumée des deux fourneaux de chauffage.

2631. Cette disposition est assez mal entendue sous plusieurs rapports. La pensée du constructeur a sans doute été de pouvoir, à volonté, porter l'air à une température suffisante pour l'appel, soit à l'aide des tuyaux d'eau chaude, soit à l'aide du foyer. Nous ne pouvons que répéter qu'avec le chauffage à l'eau chaude, l'appel coûte beaucoup plus cher qu'avec le chauffage direct, sans compter les frais d'installation, qui sont beaucoup plus considérables. En second lieu, faire passer de l'air à échauffer à travers un foyer est une disposition qui peut produire de très-grandes anomalies, résultant de la variation de la surface libre ; inconvénient qu'on évite complétement en plaçant le foyer à côté de la cheminée. Aussi, dans huit séries d'expériences, les vitesses d'écoulement dans les quatre tuyaux qui débouchent au-dessous de la grille dans la cheminée d'appel

ont varié dans le rapport de 2 à 1, tandis que ces vitesses ont varié seulement dans le rapport de 4 à 3 pour l'orifice débouchant dans la cheminée.

2632. Dans le mémoire dont il est ici question, M. le général Morin donne les résultats des expériences faites sur les cinq tuyaux d'appel qui amènent l'air dans la cheminée. On peut en conclure que la ventilation totale observée, divisée par le nombre des auditeurs estimé à huit cents, a été comprise entre 15 mètres cubes et 10 mètres cubes par personne et par heure ; la plus faible ventilation a eu lieu quand la température de l'air extérieur était le plus élevée. La température, à la partie supérieure de l'amphithéâtre, a toujours été de 20°, et de 19° à 18°,5 à la partie inférieure. L'air n'avait aucune odeur désagréable. En tenant fermé un des orifices d'accès de l'air dans le foyer, la vitesse dans les autres n'a pas changé. La vitesse dans les tuyaux d'appel a toujours été comprise entre $2^m,15$ et $1^m,10$. Le foyer d'appel n'a été, en général, que faiblement entretenu ; les jours d'expériences, la consommation de houille n'a pas été observée. La quantité totale de houille consommée pour le chauffage et la ventilation a varié de 180 à 225 kilogrammes par jour. Les conclusions de M. Morin sont que l'appareil de M. Duvoir-Leblanc satisfait à la fois aux conditions d'un bon chauffage et d'une abondante ventilation. Mais nous ferons remarquer que, d'un jour à l'autre, entre deux leçons, une portion notable de la chaleur possédée par l'eau des poêles, des tuyaux et de la chaudière, disparaît par le refroidissement, en ne produisant qu'un effet tardif inutile. Cet appareil ne peut donc satisfaire à la condition d'économie, qui ne doit pas plus être négligée dans un établissement public que dans un établissement particulier. Si l'emploi du système à l'eau chaude, à l'exception toutefois du mode de Perkins, consistant en de très-petits tuyaux, ne convient pas, c'est certainement pour les chauffages intermittents comme celui d'un amphithéâtre.

2633. M. le général Morin a cherché, en comparant les résultats obtenus dans des circonstances différentes, s'il y avait une influence du nombre des auditeurs sur la ventilation. Il a trouvé qu'elle augmentait avec leur nombre, ce qui devait être, toutes les autres circonstances étant les mêmes. Mais M. Morin pense « que l'influence du nombre des auditeurs n'est pas assez grande pour qu'il soit indispensable d'en tenir compte dans l'établissement des appareils, excepté pour les réunions nombreuses de personnes échauffées par un exercice énergique. » Il m'est impossible de partager cette opi-

nion ; chaque individu, par l'acte même de la respiration, dégage au moins 40 unités de chaleur par heure, employées à chauffer l'air, et cette chaleur ne peut pas disparaître. Si, dans les expériences rapportées dans le mémoire, on avait mesuré la température de l'air à la sortie des bouches du calorifère, on aurait pu apprécier l'influence du nombre des auditeurs sur la température de l'air à l'entrée des orifices d'aspiration. Il est d'ailleurs facile de prouver, par un calcul bien simple, qu'en supposant une ventilation de 10 mètres cubes d'air par personne et par heure, les 40 unités de chaleur émises par chaque individu, indépendamment de la chaleur employée à la vaporisation de l'eau provenant de la transpiration, élèveraient l'air de ventilation d'environ 12°.

Le maximum de ventilation, lorsque tous les orifices d'appel étaient ouverts, a été de 12^{mc},711 le 18 février, et le minimum de 9^{mc},556 le 12 mars. La salle peut contenir neuf cents personnes ; en supposant que ces volumes d'air soient employés d'une manière efficace à l'assainissement et que la ventilation soit uniformément répartie, le volume d'air pour chaque personne serait de 14 mètres cubes et de 10^{mc},5, volumes trop faibles pour une bonne ventilation. Le mémoire n'indique point qu'il y ait eu de précautions prises pour régler la ventilation ; il n'indique point les conditions dans lesquelles l'air introduit est réparti, il pourrait se faire qu'en certains points, la ventilation fût insuffisante, tandis que, dans d'autres, elle serait en grand excès. Alors, quoique la pièce fût traversée par un grand volume d'air, une partie plus ou moins considérable pourrait être fort insalubre.

Enfin, une dernière condition, aussi essentielle, surtout pour l'assainissement d'une pièce contenant un si grand nombre de personnes si rapprochées, c'est que chacune d'elles reçoive de l'air pur, et non de l'air échauffé et déjà vicié par la respiration.

L'incertitude que le mémoire laisse subsister sur la régularité de la ventilation totale, sur l'uniformité de sa répartition dans la salle, et sur l'état de l'air qu'on y respire dans différents points, fait facilement comprendre que l'opinion du général Morin sur l'efficacité de l'appareil ne soit pas partagée par tout le monde. Un article de la *Revue de l'Instruction publique*, relatif à la question qui nous occupe, se termine ainsi : « Nous ajouterons que nous avons constaté nous-même une lourdeur accablante de l'atmosphère à quelques-unes des leçons faites dans cette salle : ce jour-là on n'expérimentait pas l'appareil. » (Binet Sainte-Preuve.)

2634. L'emploi de l'eau chaude pour chauffer un amphithéâtre deux ou trois heures par jour est évidemment mauvais, car il ne permet qu'un chauffage excessivement lent et qui se continue inutilement longtemps après la leçon ; c'est donc un chauffage très-cher. Nous ne saurions d'ailleurs trop insister sur les dangers d'un appareil à haute pression placé au-dessous d'un amphithéâtre. La présence d'un tube à air libre, d'ailleurs très-petit, sur le vase d'expansion établi à une grande hauteur, ne saurait empêcher d'une manière absolue la rupture d'un tuyau ou de l'appareil, par dilatation, par usure ou par toute autre cause, et l'on frémit en songeant aux conséquences d'une explosion qui pourrait avoir lieu au-dessous des gradins chargés de huit cents personnes.

2635. Depuis, ces dispositions ont été modifiées complétement ; on a établi pour les deux amphithéâtres du Conservatoire une même cheminée d'appel. Le petit amphithéâtre présente une superficie horizontale de 150^{mq} et reçoit trois cent soixante à trois cent soixante-dix auditeurs ; le grand a une superficie de 210^{mq} et contient sept cents auditeurs. Ils sont chauffés au moyen de calorifères à air chaud à tuyaux horizontaux ; le calorifère du petit amphithéâtre a une surface de chauffe de $49^{m},5$; le grand amphithéâtre est desservi par deux calorifères : le premier présente une surface de chauffe de $12^{mq},50$ et une surface de grille de $0^{mq},50$, le second présente une surface de chauffe de 52^{mq} en tuyaux, avec une surface de grille de $0^{m},741$. Chacun d'eux possède une prise d'air spéciale pour l'alimentation et une autre pour l'introduction de l'air qui doit être chauffé. La prise d'air se fait dans la cour des amphithéâtres.

Dans le petit amphithéâtre, une partie de l'air est introduit à fleur du plancher par des grilles placées le long du mur du tableau ; mais la plus grande portion de l'air entre par des orifices rectangulaires pratiqués au-dessus des corniches ; il est dirigé tangentiellement à la voûte au moyen d'un paravent de $0^{m},55$ de hauteur placé sur la corniche en avant des orifices ; la surface totale de ces orifices est de $3^{mq},18$; enfin deux ouvertures pratiquées dans le sommet de la voûte hémisphérique de l'amphithéâtre, dont la surface totale est de $0^{mq},75$, servent aussi à l'introduction. L'air est chauffé dans les calorifères à une température voisine de 100°, une portion de cet air est dirigé dans une chambre souterraine où il se mélange avec de l'air froid pour entrer ensuite par les grilles placées à fleur du plancher ; le reste s'élève par deux gaînes qui présentent à la partie supérieure des ouvertures d'accès de l'air froid pris au-dessus du toit ;

le mélange se fait dans la gaîne circulaire qui est établie en arrière de la corniche ; des registres placés sur les différents canaux permettent de régler les proportions du mélange.

Pour éviter les rentrées d'air froid par les portes, le couloir circulaire qui entoure l'amphithéâtre est lui-même chauffé au moyen de deux bouches de chaleur à une température peu différente de celle de l'amphithéâtre lui-même.

L'air vicié sort par des orifices pratiqués dans les parois verticales des gradins dont la section totale est de $4^{mq},70$ et se rend dans une galerie qui mène à une cheminée d'appel commune aux deux amphithéâtres.

La température de l'amphithéâtre est entretenue à 19 ou 20°, l'air introduit par le bas est à une température voisine ; l'air introduit par le haut a une température inférieure de 3 à 4° à celle de l'amphithéâtre.

Dans le grand amphithéâtre l'air chaud est amené par des gaînes verticales dans le grenier qui surmonte le plafond de l'amphithéâtre et qui reçoit en même temps l'air frais pris au-dessus du toit; ce grenier sert de chambre de mélange et distribue l'air par douze grands orifices de 1 mètre carré chacun de section placés au plafond, l'air vicié est évacué par des orifices pratiqués dans les parois verticales des gradins; l'air vicié provenant des deux amphithéâtres se rend par deux galeries voûtées de $2^{m},45$ de hauteur sur $1^{m},11$ de largeur dans la cheminée qui a 18 mètres de hauteur, $2^{m},60$ de diamètre à sa base et $2^{m},10$ de diamètre au sommet ; des portes posées à la sortie de l'air des chambres placées sous les gradins permettent d'en régler le courant. Une grille de $1^{m},22$ sur $1^{m},22$ est placée dans la cheminée et sert, au moyen d'un feu de houille, à déterminer l'appel. La quantité d'air évacué par heure est dans le petit amphithéâtre d'environ 12000 mètres cubes et de 18000 dans le grand.

La dépense est à peu près de 1 kilogramme de houille pour 1000 mètres cubes d'air évacué.

Bâtiment des études et des archives du matériel de la compagnie des chemins de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée.

2636. L'ensemble de la construction présente en plan un rectangle d'environ 60 mètres de longueur sur 12 mètres de largeur. Il comporte :

1° Au sous-sol, les appareils de chauffage et de ventilation et quelques bureaux secondaires ;

2° Au rez-de-chaussée, une série de bureaux pour les ingénieurs et les employés des études et des archives, disposés de chaque côté d'un long couloir ;

3° Au premier étage, une grande salle d'archives où sont rangés tous les dessins de la compagnie ;

4° Au second étage, une grande salle de dessinateurs ;

5° Enfin, au dernier étage, les ateliers de collage des dessins, de reproductions photographiques, etc.

Ce dernier étage est surmonté d'un comble sans affectation particulière.

On a écarté tout d'abord le système de chauffage à l'air chaud, parce qu'il n'évite pas d'une façon absolue les dangers d'incendie. On a préféré le système de chauffage à vapeur à cause surtout de la facilité de réglage qu'il présente ; enfin la nécessité d'avoir dans le bâtiment une force motrice pour le service de l'eau, des monte-charges, etc., a fait adopter des appareils de ventilation mécanique mus par la vapeur.

L'installation de ces appareils de chauffage et de ventilation a été faite par MM. Geneste fils et Herscher frères.

2637. Un générateur de 20^{mq} de surface de chauffe est placé dans le sous-sol et sert au chauffage ; un autre générateur de 6^{mq} de surface de chauffe, placé à côté du premier, sert à la ventilation.

Le premier générateur alimente, par l'intermédiaire de *détendeurs* réglés à basse pression (1977), une série d'appareils ou surface de chauffe formés de tuyaux placés pour la plupart dans des doubles planchers réservés au-dessous des couloirs du rez-de-chaussée et du premier étage ; ces couloirs occupent toute la longueur du bâtiment ainsi que les faux-planchers dont il s'agit ; chaque faux-plancher est divisé par une cloison horizontale et deux compartiments d'égale hauteur à peu près ; le compartiment supérieur reçoit les tuyaux de vapeur servant au chauffage ; ces tuyaux sont disposés longitudinalement ; au-dessous et à une extrémité se trouve un collecteur transversal des eaux de retour ; l'air neuf entre dans le compartiment inférieur par ses deux extrémités qui débouchent librement sur les deux façades opposées du bâtiment et passe ensuite dans le compartiment supérieur par des orifices convenablement répartis ; là il s'échauffe et se rend par des conduits et des bouches aux différents locaux à chauffer. Ceux-ci sont munis, chacun suivant

son importance, d'une ou plusieurs cheminées d'aspiration réservées dans les murs de façade et venant déboucher dans le comble du bâtiment ; une machine à vapeur placée dans les caves actionne directement une pompe qui comprime de l'air à la pression de 5 atmosphères ; cet air comprimé est amené dans les combles où il met en mouvement un petit moteur horizontal à 2 cylindres, lequel donne l'impulsion à une hélice qui aspire l'air du comble pour le rejeter à l'extérieur par une lanterne placée au-dessus du toit.

2638. La distribution de l'air neuf aux différents étages se fait de la façon suivante : l'air qui a traversé le faux-plancher du couloir du rez-de-chaussée est introduit dans les salles du rez-de-chaussée ; l'air qui traverse le faux-plancher placé au-dessous du couloir du premier étage est envoyé en partie et directement dans la grande salle du premier étage par des ouvertures pratiquées dans le plancher lui-même, et en partie dans la grande salle du second étage par des gaînes traversant toute la hauteur du premier étage et placées dans les casiers à dessins. Le chauffage du troisième étage se fait au moyen de poêles apparents formés de tuyaux disposés suivant l'inclinaison des combles.

La vapeur arrive aux différentes surfaces de chauffe en passant par des appareils spéciaux qui règlent la pression maxima à 10 centimètres de mercure en plus de la pression atmosphérique, et l'eau condensée sur ces différentes surfaces à l'intérieur se réunit dans un tuyau de retour unique de grand diamètre établi à l'air libre pour couler finalement dans une bâche placée à proximité des générateurs et être employée de nouveau à la vaporisation.

Les conduits d'évacuation de chaque salle ont une section suffisante pour que l'air n'y atteigne pas une vitesse de 1 mètre ; ils communiquent avec chaque pièce par deux orifices, l'un placé près du sol pour la ventilation d'hiver et l'autre placé près du plafond pour la ventilation d'été.

2639. Les appareils employés produisent, aussi bien en hiver qu'en été, un renouvellement de plus de 12000 mètres cubes d'air par heure pour l'ensemble du bâtiment dont la capacité totale est d'environ 10000 mètres cubes.

Toutes les parties de l'installation peuvent se régler isolément à l'endroit même où sont placés les générateurs. De grandes précautions ont été prises pour permettre toutes les dilatations, les visites et les réparations de tous les joints. En plaçant les conduits de ven-

tilation dans les murs de façade, on atténue dans une certaine mesure le refroidissement par les murs du bâtiment.

La machine du sous-sol qui fait mouvoir les appareils de ventilation des combles sert en même temps à faire mouvoir un monte-charge et divers autres appareils : pompe à incendie, pompe à eau pour les services courants, etc.

2640. Cette installation présente l'avantage d'un chauffage qu'on peut faire varier à volonté avec une grande facilité ; de plus, l'emploi d'une ventilation mécanique rend celle-ci complétement indépendante du chauffage. Mais comme la ventilation se fait exclusivement par appel, on n'évite pas les rentrées d'air par les fissures des portes et des fenêtres. On pourrait désirer aussi que des dispositions eussent été prises pour rafraîchir l'air neuf en été.

Théâtres.

2641. Les théâtres des Romains n'étaient pas couverts, ou, du moins, ne l'étaient qu'accidentellement par des toiles, et ils n'étaient fréquentés que pendant le jour. Ces circonstances devaient les rendre très-salubres, beaucoup plus que nos théâtres fermés quand ils ne sont pas convenablement ventilés ; cependant la chaleur produite par le grand nombre des spectateurs portait quelquefois la température à un degré très-élevé, que l'on abaissait par des arrosages fréquents, par de l'eau injectée en pluie très-fine, et quelquefois même parfumée.

2642. Dans nos théâtres fermés, la chaleur produite par les spectateurs, par les appareils d'éclairage et l'altération de l'air résultant de la respiration et de la transpiration exigent une puissante ventilation. Le chauffage de la salle s'effectue par des calorifères de différents systèmes, et la ventilation s'établit par la cheminée placée au-dessus du lustre, qui constitue un foyer d'appel. Cet appel pourrait être souvent suffisant pour produire l'assainissement si les orifices d'accès de l'air neuf et ses mouvements dans la salle étaient convenablement disposés.

2643. M. Darcet, comme membre du Conseil de salubrité, a fait une étude spéciale des conditions d'assainissement des salles de spectacle, en ayant égard aux considérations théoriques, et il a fait exécuter les dispositions qu'il avait imaginées. La commission dont M. Darcet faisait partie a eu à s'occuper successivement de l'assai-

nissement de l'Odéon, de l'Opéra, du Gymnase, des Variétés, du Théâtre-Français et du théâtre de l'Opéra-Comique.

M. Darcet a publié dans les *Annales d'hygiène publique* un mémoire sur la question dont il s'agit ; c'est de ce mémoire que j'ai extrait ce qui suit, en y ajoutant seulement quelques détails. Les dispositions générales que ce savant a imaginées, il y a bien des années, sont les suivantes :

2644. Le mode de chauffage employé est le chauffage à vapeur ; la chaudière est placée, autant que possible, dans un bâtiment voisin, afin d'éviter les conséquences d'un accident. Un calorifère à vapeur se trouve au-dessous du parterre, et l'air chaud arrive par des fentes ménagées à la partie supérieure latérale des bancs. D'autres sont placés dans le vestibule et dans les couloirs des différents étages de loges. Ceux des couloirs se composent de plaques au niveau du sol et de poêles à vapeur ; ces poêles chauffent directement de l'air extérieur, ou de l'air qui a déjà passé par la chambre du calorifère qui se trouve au-dessous du parterre. Les loges d'acteurs et le théâtre renferment également des poêles à vapeur. Les galeries appelés *foyers* sont chauffées par des foyers découverts, et en même temps par des courants d'air chaud sortant des calorifères des couloirs. Nous devons dire que ces chauffages à vapeur n'ont pas, en général, été établis, et qu'on leur a substitué des calorifères à air chaud.

2645. L'air extérieur, préalablement chauffé, arrive dans la salle par les orifices des bancs du parterre et des canaux pratiqués entre le plafond de chaque étage de loges et le plancher de l'étage supérieur, et l'air des couloirs pénètre à volonté dans les loges par des orifices pratiqués dans le mur de fond de la loge et garnis de registres qu'on ferme plus ou moins. L'emploi de ces derniers orifices ne devait constituer qu'un mode accessoire de ventilation, et l'on ne devait s'en servir que comme supplément dans le cas où la somme des autres orifices se serait trouvée insuffisante par suite de circonstances exceptionnelles.

2646. Au-dessus du lustre se trouve une cheminée munie de registres, et qui est garnie à la partie supérieure et latéralement de jalousies. Une cheminée analogue a été établie au-dessus de la scène. Cette dernière sert, pour les représentations où on brûle de la poudre, à produire un appel d'air suffisant pour empêcher la fumée de se répandre dans la salle. L'appel du lustre étant moins puissant pour l'étage le plus élevé, le plafond de ces loges communique directement

par un certain nombre de tuyaux avec la cheminée du lustre.

2647. Sous le rapport du chauffage, le système que nous venons d'exposer laisse peu à désirer ; mais il est loin d'en être ainsi sous le rapport de la ventilation. L'appel par la cheminée du lustre détermine par les fissures des portes des loges, des courants d'air incommodes et même dangereux, car la température des couloirs est basse relativement à celle de la salle. D'un autre côté, les courants d'air chaud qui s'établissent à la sortie des orifices, dans le parterre et dans les loges, sont en général désagréables, et les spectateurs préfèrent fermer ou boucher tous les orifices de ventilation. Il en résulte que la ventilation de la salle est à peu près nulle et que presque tout l'air appelé par le lustre vient directement de la scène.

2648. D'après des renseignements qui m'ont été fournis il y a déjà longtemps, la température de l'air à la cheminée du lustre serait de 26° au théâtre de l'Opéra-Comique, de 28 à 30° au théâtre de la Gaieté, et de 30 à 35° au théâtre du Palais-Royal. Ces températures varient d'ailleurs beaucoup pendant la durée d'une représentation, comme nous le verrons un peu plus loin. Au théâtre du Palais-Royal, la vitesse d'écoulement était de $0^m,60$, la surface libre à peu près de 6 mètres carrés, ce qui fait 21 600 mètres cubes par heure, et comme le nombre des spectateurs s'élevait à 1 200 environ, le volume d'air pour chacun n'atteignait que 18 mètres cubes par heure, en supposant la ventilation uniformément répartie. Mais il est bien certain, d'après ce que nous venons de dire, que cette bonne répartition n'existe pas, et ne saurait que bien difficilement exister dans un théâtre avec la ventilation par appel. Cette dernière observation s'est trouvée confirmée par le résultat qu'ont fourni les ventilations par appel installées à Paris dans les théâtres de la ville ; le Théâtre-Lyrique, le Cirque (place du Châtelet) et la Gaieté.

2649. En 1861, une commission avait été chargée par le préfet de la Seine de dresser le programme à suivre pour opérer la ventilation et le chauffage du Théâtre-Lyrique et du Cirque que la ville construisait. Cette commission adopta la proposition de son rapporteur, le général Morin, laquelle consistait à ventiler par appel et à se servir à cet effet de la chaleur développée par les becs de gaz de l'éclairage ; comme chauffage, la commission, éclairée sans doute par les résultats de l'explosion meurtrière du calorifère à eau chaude de Saint-Sulpice, spécifia des calorifères à air chaud. Elle fixait à 30 mètres cubes, au moins, par spectateur et par heure, le volume d'air à *extraire* de la salle. Cette condition a été interprétée de telle façon

qu'on l'a appliquée au volume d'air écoulé par les cheminées d'évacuation et non au volume d'air qui affluait par les orifices d'accès de l'air neuf.

2650. Nous décrirons succinctement les dispositions employées au Théâtre-Lyriqne parce qu'elles ont été établies conformément au programme et aux indications du général Morin et par ses soins.

La ventilation était effectuée au moyen de l'appel produit en se servant de la chaleur développée par les becs de gaz de l'éclairage principal, composé de 1180 becs placés derrière un plafond transparent ; cet éclairage remplaçait le lustre ; la coupole avait sa surface presque entièrement vitrée en verre dépoli et peint. Ce vitrage formait la base de la cheminée d'appel et formait une séparation entre celle-ci et la salle. Toutes les gaînes donnant issue à l'air vicié de la salle aboutissaient à cette grande cheminée de la coupole.

De chaque côté du parterre se trouvait une gaîne afférente à cette partie de la salle, et qui était parcourue par le tuyau de fumée de l'un des calorifères, afin d'activer l'appel au rez-de-chaussée ; ces gaînes aboutissaient aussi à la cheminée des coupoles. En été, on avait la faculté de faire un feu de houille dans ces deux gaînes latérales afin d'augmenter le tirage.

2651. Nous avons indiqué plus haut le dispositif imaginé par Darcet pour l'introduction de l'air neuf dans les salles de théâtre : il consistait à le faire arriver par les doubles fonds des planchers de chacun des étages, et à le faire déboucher au pourtour de chaque rang de loges au parement de leur galerie. La commission des théâtres de la ville de Paris adopta ce mode de distribution dans son programme Au fond des loges et au niveau de leur plancher devaient être placées les bouches d'évacuation de l'air vicié ; ces bouches aboutissaient par des canaux aux gaînes qui se rendaient à la cheminée surmontant la coupole ; la construction de l'édifice ne permit pas de placer ces bouches au bas des loges et obligea à les mettre toujours au fond, mais près du plafond de ces mêmes loges. Pour le parterre et l'orchestre, les orifices d'évacuation de l'air vicié avaient une communication directe avec la cheminée de la coupole ; ceux du premier étage, du second et du troisième se réunissaient pour aboutir à cette même cheminée, et ceux du quatrième étage avaient leur gaîne spéciale.

2652. L'air neuf pour la ventilation du théâtre était amené en toute saison par un canal souterrain, qui s'ouvrait, à fleur de sol, dans le square de la tour Saint-Jacques. Le programme avait bien

indiqué qu'il serait bon de prévoir pour l'été des accès d'air extérieur à chaque étage ; mais cette introduction supplémentaire ne fut pas mise à exécution. L'air neuf affluait dans la salle par les doubles fonds des planchers des étages, par des jours ménagés dans le cadre du rideau et par une baie horizontale de $0^{m},30$ de largeur, portée à $0^{m},60$ par le général Morin, concentrique à la rampe et présentant toute la longueur de celle-ci. Ce dernier mode d'accès de l'air fut reconnu bientôt tellement incommode qu'on le supprima. Celui du pourtour du rideau gênait les acteurs ; il aurait fallu qu'il ne commençât qu'à une hauteur de 6 ou 7 mètres au-dessus des planchers de la scène et, dans ce cas, il n'aurait guère servi à l'alimentation des spectateurs.

2653. Le programme exigeait qu'il y eût 51 000 mètres cubes d'air extraits de la salle par heure. Nous empruntons à l'ouvrage de M. Morin sur la ventilation et le chauffage, en les résumant, les expériences de ce savant général sur la ventilation du Théâtre-Lyrique ; celles qui ont été exécutées en dernier lieu sur l'installation fonctionnant réellement datent de mai 1863. Le plafond lumineux fonctionnant, ainsi que la prise d'air du square Saint-Jacques, l'ensemble des accès et des départs de l'air était celui que nous venons d'indiquer.

La section du canal du square était de 9 mètres carrés, ce qui avec la vitesse moyenne de $0^{m},75$, observée en hiver, donnait un volume d'air de 25 000 à 26 000 mètres cubes par heure, chiffre, dit-on, spécifié au marché de l'entrepreneur ; le nombre des places étant de 1 640, cela donnait 15 à 16 mètres cubes par personne et par heure, et non 30 mètres cubes ; dans les expériences de mai 1863, le minimum de volume d'air venant du square a été reconnu être en moyenne, pour la durée de la représentation, de 10 587 mètres cubes par heure, un soir que la température extérieure était de 23° à 7 heures et de 19° à minuit ; ce volume augmente un peu avec l'abaissement de la température extérieure ; ainsi le maximum en mai a été de 17 223 mètres cubes, un autre soir qu'à 7 heures la température extérieure était de 13° et de 9° à minuit. C'est donc par personne et par heure une alimentation de $6^{mc},45$ à $10^{mc},50$ fournie par les orifices spéciaux d'arrivée.

Pendant que la prise d'air fournissait 10 587 mètres cubes, la cheminée de la coupole évacuait 61 718 mètres cubes d'air, avec une température de 48° pendant la durée des actes et de 60° pendant les entr'actes en moyenne. Ce volume se répartissait ainsi : au parterre

et à l'orchestre 21 672 mètres cubes ; par les orifices du premier étage, du deuxième et du troisième qui communiquaient avec une gaîne unique 23 770 mètres cubes, et par les orifices du quatrième étage 16 276 mètres cubes. En divisant ces chiffres par le nombre des places, on trouve 49^{mc},26 au parterre, 32^{mc},29 pour les trois premiers étages et 54^{mc},98 pour le troisième étage ; mais il est bien évident que ces chiffres n'expriment pas le vrai volume d'air que recevait chaque place considérée ; certaines d'entres elles pouvaient en avoir beaucoup plus et d'autres beaucoup moins.

2654. Il n'a pas été fait, comme contrôle, de jaugeage dans la cheminée de la coupole, le chiffre de 61 718 mètres cubes résulte de l'addition des observations partielles. Il n'a pas été fait non plus d'observation de la dépression existant dans la cheminée ni de celle qui devait exister dans la salle.

2655. Il y a une différence énorme entre le volume que fournit la prise d'air du square et celui qui est extrait de la salle par l'appel du plafond lumineux ; cette différence de 40 000 à 50 000 mètres cubes est introduite dans la salle par les joints des portes et des vasistas des loges, des couloirs, de la scène et des dessous de celle-ci.

On conçoit facilement qu'en pareille circonstance, des courants fort désagréables produits par l'énergique appel de la coupole s'établissent fort irrégulièrement dans tous les points de la salle ; si le canal du square qui, d'après les prévisions, devait donner 25 000 à 30 000 mètres cubes d'air, fournissait si peu en mai, c'est que l'action de l'appel s'épuisait sur les rentrées d'air accidentelles qui offraient moins de résistance ; les accès réguliers d'air neuf présentaient donc une section complétement insuffisante.

2656. Pendant la durée des mêmes expériences, les températures observées dans les différents étages ont été : à l'orchestre 25°,97 ; au premier étage : minimum 24°,5, maximum 27°,0 ; au second étage : minimum 24°,5, maximum 27° ; au troisième étage : minimum 24°,5, maximum 27°,75 ; au quatrième étage : minimum 24°,5, maximum 28° ; ces nombres se rapportent à la soirée du 30 mai pendant laquelle la température était de 23° à 7 heures et de 19° à minuit.

Le 24 mai, la température extérieure étant de 16°,5 à 7 heures et de 10°,5 à minuit, la température à l'orchestre était de 23°,80 ; au premier étage, elle a varié entre 21° et 23°,5 ; au second, entre 20°,75 et 22°,75 ; au troisième, entre 20°,75 et 23° ; au quatrième, entre 23° et 24°,75.

2657. On a quelque peine à s'expliquer les différences de température qui se sont produites dans ces deux soirées entre l'extérieur et l'intérieur ; le 30 mai cet excès était de 4°,75 à 5°,75 tandis qu'il s'élevait entre 9°,38 et 9°,75, le 24 mai ; or l'évacuation a été de 61 718 mètres cubes le 30 mai et de 56675 mètres cubes le 24 mai, le nombre des spectateurs a été de 1361 le 30 mai et de 950 seulement le 24, soit 45 mètres cubes environ par spectateur pour le 30 mai et 59 mètres cubes le 24 ; si l'on ne considère que les spectateurs comme cause d'échauffement, on voit que la différence des températures aurait dû être plus faible le 24 que le 30 parce qu'il y avait une alimentation plus grande par chaque spectateur ; mais il faut dire que les autres causes d'élévation de température, chaleur transmise par le plafond lumineux, gaz de la rampe, etc., sont les mêmes et que, comme l'évacuation totale était un peu plus faible le 24 mai que le 30, l'échauffement de l'air par ces dernières causes devait être un peu plus grand le 24 ; mais il ne pouvait y avoir qu'un excès de 1/10 au plus résultant de ces causes, puisque l'évacuation ne diffère pas plus de 1/10 dans les deux cas ; on doit donc en conclure qu'il devait y avoir dans la répartition de l'air distribué dans la salle une irrégularité considérable qui peut seule expliquer la variation de la différence des températures dans ces deux observations ; cette variation était du simple au double, soit de 5°,5 à 9°,5 en moyenne.

2658. Il est certain qu'avec une ventilation effective, c'est-à-dire d'air neuf arrivant aux différentes places en volume suffisant, on aurait plus de fraîcheur en été qu'on en a obtenu au Théâtre-Lyrique ; surtout si on pouvait augmenter la ventilation suivant les besoins et en particulier quand la température s'élève, ce qui serait facile en employant le système de la pulsion.

2659. On n'a pas fait d'expériences sur les variations de la ventilation pendant la représentation et les entr'actes ; ces variations doivent être très-sensibles, car l'appel par l'éclairage ne peut pas être régulier. En effet, pendant les entr'actes on donne tout le gaz et on le diminue considérablement pendant les actes ; de plus, les effets de scène sont des causes plus ou moins répétées de diminution dans la dépense de lumière ou de gaz : on a observé au Théâtre-Lyrique que l'on brûlait trois fois à trois fois et demie plus de gaz pendant les entr'actes que pendant les actes à durée égale. En mai 1863, la température dans la cheminée du plafond lumineux a été en moyenne pendant la semaine qu'ont duré les expériences de 30° pendant les

actes et de 61° pendant les entr'actes ; il résulte donc du système employé que l'appel est très-énergique alors qu'une partie des spectateurs sont sortis et que le plus grand nombre des portes sont ouvertes ; aussi les spectateurs qui restent dans la salle sont-ils exposés à des courants d'air parfois insupportables ; en hiver, la salle se trouve en outre refroidie pendant l'entr'acte d'une manière fâcheuse, si elle était auparavant à température convenable. Quand la représentation reprend son cours, l'appel est réduit à sa limite inférieure afin d'économiser le gaz. Pour obtenir quelque régularité dans l'emploi de ce moyen d'appel, il faudrait recourir à des complications fort peu pratiques, qui n'avaient été d'ailleurs ni imposées ni appliquées au Théâtre-Lyrique, et qu'un personnel intelligent ne parviendrait pas toujours à faire fonctionner à point nommé.

L'emploi du plafond lumineux a été abandonné au théâtre de la Gaieté et il n'a pas été repris au Théâtre-Lyrique lors du rétablissement de ce dernier après son incendie.

2660. Indépendamment des motifs que nous avons donnés et qui ont mené à l'abandon des plafonds lumineux, il en est un autre qui présente une grande importance, c'est que l'éclairage ainsi obtenu est désagréable ; les flammes des becs oscillent par suite de l'afflux de l'air vicié et de sa vitesse ; les becs sont entourés de réflecteurs qui renvoient la chaleur de ce foyer intense sur la tête des personnes assises au rez-de-chaussée et dans les galeries découvertes. Si à la perte de lumière (30 à 40 pour 100) que cause le verre dépoli, on ajoute celle qui résulte de l'encrassement produit par les poussières et les vapeurs de l'atmosphère de la salle, et si enfin on tient compte de la distance à laquelle ces becs sont placés des places à éclairer, on comprendra facilement qu'un lustre de 250 becs puisse remplacer avantageusement les 1180 becs d'un plafond lumineux. Toutefois, d'après les températures observées dans la cheminée de la coupole, cette dernière proportion était nécessaire au tirage et une diminution du nombre des becs aurait amené une diminution correspondante dans l'appel.

2661. Au théâtre du Cirque, le système était le même qu'au Théâtre-Lyrique. Le programme exigeait qu'on pût extraire de la salle 90 000 mètres cubes d'air par heure en se basant sur le nombre de 3 000 spectateurs recevant chacun 30 mètres cubes. La prise d'air devait se faire par un canal souterrain qui devait déboucher sur la berge de la Seine. Cette alimentation aurait pu fournir de l'air moins pur que celui que fournissait au Lyrique le square Saint-Jac-

ques, surtout au moment des basses eaux et des grandes chaleurs où l'odeur du fleuve est sensible, mais cette prise d'air n'a pas été exécutée à cause de la dépense qu'elle aurait occasionnée. L'alimentation de l'air à chauffer par les calorifères se faisait au travers de grilles placées sur les trottoirs creux du passage intérieur destiné aux voitures de l'ex-empereur, la prise d'air qui fournissait à l'entrée par le cadre du rideau se faisait dans les deux cours voisines de la scène. Par économie l'administration préfectorale apporta au projet officiel quelques modifications qui ont rendu les arrivées d'air et la répartition de la ventilation plus défectueuses qu'au Lyrique.

2662. En 1863, le général Morin fit des expériences à l'Opéra de la rue Lepelletier sur la ventilation et sur la température. Ce théâtre contenait 1 753 places.

En février et en mars, alors que la température pendant les soirées a varié de 4° à 8°, la température intérieure de la salle s'est élevée à peu près régulièrement du commencement à la fin de la représentation. A l'orchestre, au commencement, la température qui était de 16° à 17° arrivait à 22° ou 23°, ce qui est la température admise normalement pour la salle. Aux places d'amphithéâtre, elle a été, à partir de 9 à 10 heures, presque constamment égale à 28 ou 29°. L'excès de la température de ces places du haut sur celles du bas a été en moyenne de 6 à 7°. Sur la scène, la température varie souvent de plus de 3 à 4° pendant la représentation, sa valeur moyenne paraît être de 20° ; quand elle descend à 17 ou 18°, les artistes se plaignent du froid. Mais il faut songer aux courants qui s'établissent de la scène au lustre.

2663. La ventilation de l'ancien Opéra, organisée par Darcet, s'opérait au moyen d'air neuf puisé dans les couloirs et débouchant par les doubles fonds des planchers des étages et sur l'appel de la cheminée du lustre. Le 25 février, les expériences anémométriques faites dans cette cheminée ont donné les résultats suivants : la température qui y régnait au premier acte à 8 heures et demie était de 34°, et s'élevait à 36° au dernier acte, la température extérieure étant de 5° ; la vitessé, à la température de 34°, était de $2^m,43$ au pourtour derrière la rosace, et au centre de $2^m,87$; les passages libres de la rosace offraient une surface de $4^m,35$ qu'il faut soumettre à une réduction pour tenir compte de la contraction. Le volume d'air écoulé a été de 28 253 mètres cubes par heure.

Au dernier acte, la température étant de 36°, la vitesse était au pourtour de $2^m,65$ et au centre d'environ $3^m,00$; le volume d'air

appelé s'est élevé à 30 852 mètres cubes par heure ; le nombre des spectateurs étant ce soir-là de 1 529 ; cette ventilation correspond à $18^{mc},83$ par spectateur et à $16^{mc},80$ par place, en comptant 1 753 places.

2664. A la salle Ventadour, qui contient 1 330 places, le volume mesuré dans la cheminée du lustre était seulement de 11 000 à 12 000 mètres cubes, soit 8 à 9 mètres cubes par place.

2665. Dans ces expériences dernières du général Morin, il n'a pas été fait d'observation sur l'état hygrométrique de l'air ; comme cette question présente de l'intérêt, nous citerons des résultats obtenus à cet égard par Neumann à l'ancien Opéra, le 19 octobre 1860.

L'air à l'extérieur était à 45 p. 100 de saturation ; à mesure que la représentation se prolonge, la vapeur augmente en quantité dans l'intérieur; observé dans la cheminée, l'état de saturation se maintient un certain temps à 45 p. 100 ; pendant le troisième acte (*Sémiramis*) il atteint 55 p. 100, la température étant de 32°, ce qui correspond à $18^{gr},15$ par mètre cube ; à $11^{h},15'$, au troisième entr'acte, l'état de saturation est de 50 p. 100, la température est de 36° ; ainsi au commencement de la représentation l'air n'était pas saturé à moitié, et à la fin il l'a été un peu plus qu'à moitié. Le volume d'air écoulé par la cheminée était de 30 780 mètres cubes à l'heure lorsque la saturation était à 55 p. 100, ce qui à raison de 18 grammes par mètre cube donne $54^{kil},040$ de vapeur d'eau à l'heure.

Cette eau provient de la transpiration des assistants et de la combustion du gaz d'éclairage. Neumann a constaté que l'odeur de l'air dans la cheminée était fétide.

2666. D'autres expériences exécutées en décembre pendant un bal, alors que la température extérieure était de — 1°,5, ont donné les chiffres suivants : à $12^{h},12'$ la température dans la cheminée du lustre était de 27° et l'hygromètre accusait $10^{gr},4$ de vapeur par mètre cube.

A $12^{h},55'$, au second étage, la température de la salle était de 22°,25 et l'hygromètre au même lieu indiquait 12 grammes d'eau par mètre cube ; à $1^{h},10'$, au quatrième étage, la température était de 25° et l'hygromètre accusait $13^{gr},20$ de vapeur par mètre cube.

A $1^{h},35'$, dans la cheminée du lustre, la température était de 32°, et la quantité de vapeur s'élevait à $12^{gr},90$ par mètre cube.

A $2^h,20'$, au lustre également, la température est de 34° et la vapeur s'élève à $13^{gr},70$ par mètre cube.

Pendant tout ce temps, la vitesse dans la cheminée a varié de de $3^m,30$ à $3^m,70$.

2667. *Nouvel Opéra de Paris.* — Le chauffage et la ventilation du nouvel Opéra ont été établis par M. D'Hamelincourt ; le chauffage se fait partie à l'air chaud, partie à l'eau chaude ; la ventilation a lieu par appel pour le chauffage de la grande galerie d'entrée du vestibule secondaire et du foyer du premier étage qui présentent en totalité un volume de 18 000 mètres cubes environ ; on a employé deux calorifères à air chaud d'où partent des conduits de chaleur munis de registres et qui aboutissent à des bouches de chaleur placées dans le sol des parties à chauffer. Deux autres calorifères à air chaud servent pour le grand escalier et les escaliers secondaires dont la capacité est de 19 500 mètres cubes ; 16 bouches de chaleur placées dans le sol sont réparties en différents points, de façon à obtenir une température uniforme ; des registres placés sur les conduits permettent de régulariser le chauffage.

Enfin deux calorifères à air chaud desservent les vestibules d'entrée des abonnés et le grand salon circulaire de service, un autre dessert le pavillon dit de l'Empereur et un quatrième le pavillon du Glacier. L'alimentation pour l'air chauffé se fait par des prises d'air extérieur munies de registres qui permettent d'en régler le débit et qu'on peut fermer complétement après l'arrêt du chauffage pour empêcher la déperdition de la chaleur.

2668. Le chauffage de la scène est fait au moyen de l'eau chaude, on s'est proposé d'obtenir ainsi une température plus régulière et en même temps d'éviter l'odeur spéciale toujours inhérente à l'air chaud et qui peut gêner les chanteurs ; les surfaces de chauffe sont alimentées par trois groupes d'appareils générateurs, savoir : deux pour la scène, les foyers et les loges, et un pour le bâtiment d'administration proprement dit ; le volume chauffé est de 38 000 mètres pour le premier et 24000 pour le second ; les générateurs sont placés dans les caves en contre-bas des circulations horizontales du rez-de-chaussée ; ils sont surmontés d'une voie de distribution d'où partent les circulations principales, les unes destinées à alimenter les surfaces de chauffe de la scène ; les autres, celles des dépendances et des bureaux. Chacune de ces circulations est commandée par une vanne pouvant l'arrêter au besoin et limiter ainsi le chauffage à telle partie du bâtiment qu'il est nécessaire. Les circu-

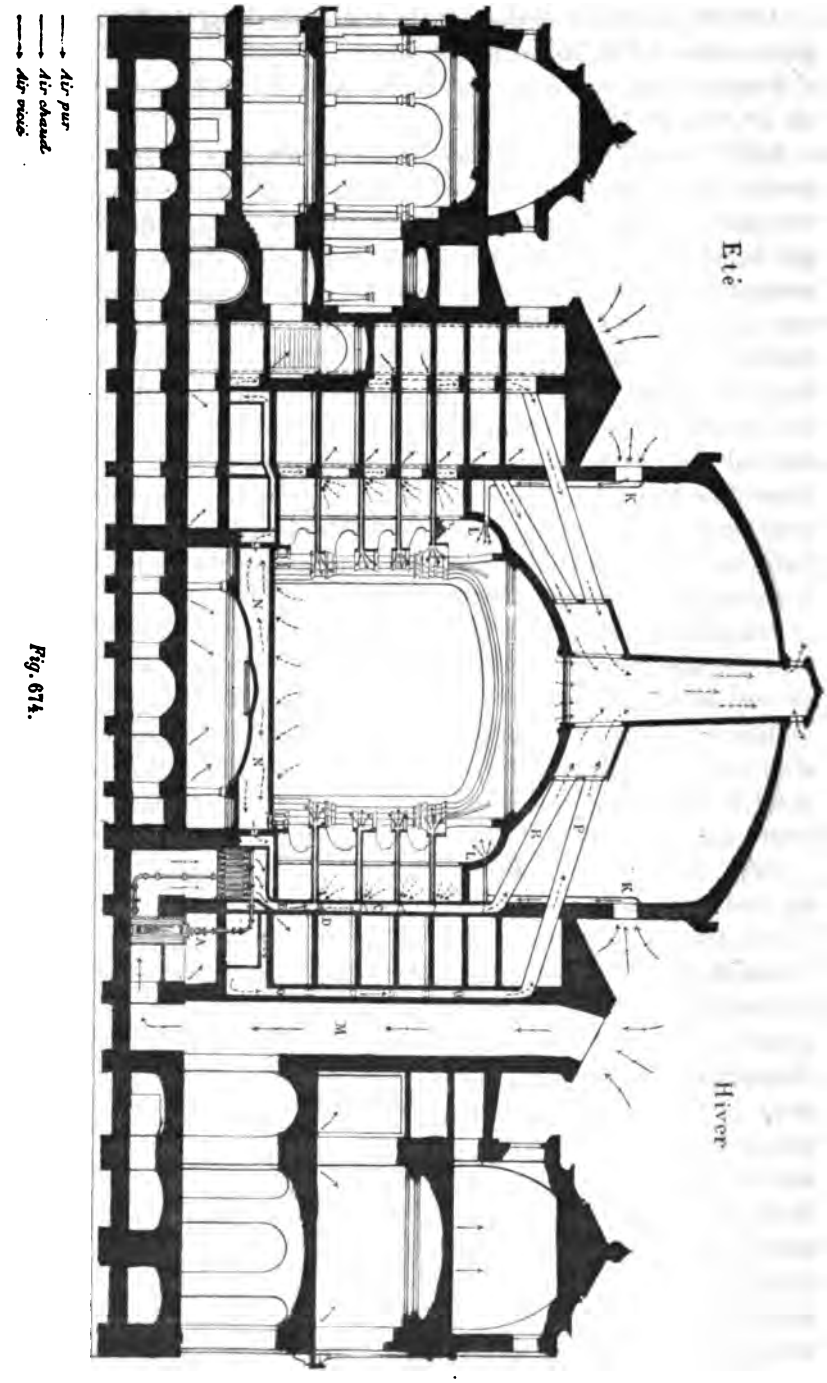


Fig. 674.

lations desservant les premières surfaces suivent le périmètre du mur de dessous et alimentent une série de tuyaux qui s'élèvent pour arriver jusqu'au plancher de la scène ; ces tuyaux sont renfermés dans une gaîne en maçonnerie ouverte à la partie inférieure pour laisser pénétrer l'air à chauffer, et fermée à la partie supérieure par une grille à jour débouchant sous la scène ; l'air s'échauffe contre les tuyaux qu'elle renferme, s'élève dans l'intérieur et vient déboucher au niveau du plancher de la scène.

Les circulations affectées aux surfaces de chauffe des étages supérieurs passent le long des murs de face pour venir alimenter une série de tuyaux accolés à ce mur et montant dans le haut des étages. Chacun de ces tuyaux porte un robinet qui permet d'en régler la température ; ils sont enfermés dans des gaînes divisées par étage et ouvertes à la partie inférieure et à la partie supérieure ; le premier est en communication avec l'air extérieur et la partie supérieure avec la pièce à chauffer.

2669. Le foyer des musiciens, le grand foyer de la danse et les pièces placées au-dessus sont chauffés par un système de poêles placés au-dessous dans les caves ; chaque poêle a sa prise d'air séparée et les conduits de chaleur débouchent dans chaque pièce à chauffer ; des robinets placés sur les tuyaux d'alimentation des poêles permettent d'en régler la température ; des registres sont placés sur les tuyaux d'air chaud.

2670. La salle et les couloirs qui la desservent sont également chauffés par l'eau chaude au moyen de surfaces de chauffe établies dans un espace libre A (fig. 674), embrassant tout le périmètre de la salle, ce qui assure une répartition uniforme de la chaleur.

Sur cet espace circulaire, formant une vaste chambre à air, sont branchés les conduits verticaux B, destinés à distribuer l'air à tous les étages de la salle ; ces conduits au nombre de dix-huit présentent ensemble une section libre de 30 mètres carrés, ils sont divisés intérieurement à l'aide de cloisons, de façon à affecter à chaque étage une section proportionnelle au nombre des spectateurs qu'il renferme ; chacun de ces compartiments porte un registre qui permet de régler la sortie de l'air. Au niveau de chaque étage s'arrête le compartiment qui le dessert, il s'épanouit dans l'espace laissé libre sous le plancher, pour venir ensuite déboucher dans la salle, sur le devant des loges ; du côté du couloir, une bouche de chaleur prise sur ce compartiment met la température du couloir en harmonie avec celle de la salle.

2671. L'air chaud pénètre donc dans la salle à son pourtour et à tous les étages par des ouvertures dont la section totale est de 60 mètres carrés; l'air extérieur destiné à alimenter les surfaces de chauffe de la salle est pris dans l'atmosphère à la partie supérieure de l'édifice par des cours M, présentant une section totale de 20 mètres carrés.

Pour la ventilation d'été, indépendamment de l'alimentation d'air neuf qui se fait par les mêmes voies que celles que nous venons de décrire, on a disposé des prises d'air spéciales au sommet du vaisseau en K, K ; l'air qu'elles fournissent pénètre dans la salle à la partie supérieure par de nombreuses ouvertures L, L. L'ensemble de ces prises d'air offre à leur ouverture dans l'atmosphère une section de 40 mètres, et à leur débouché dans la salle une section double; toutes ces arrivées d'air sont munies de registres pour en régler le débit à volonté.

2672. L'évacuation de l'air vicié se fait de la même façon en été et en hiver; elle a lieu sous l'influence de l'appel produit : 1° par la chaleur utilisée des appareils de l'éclairage; 2° par la chaleur perdue des tuyaux à fumée des appareils calorifères ; 3° par des foyers additionnels, et enfin, dans les cas extrêmes, par une couronne de gaz établie au bas de la cheminée du lustre.

Des bouches d'appel sont établies à l'orchestre et au parterre, entre les supports des faces latérales des siéges, d'où elles débouchent dans l'espace libre N N qui existe entre le plancher du parterre et le plafond du salon circulaire. Cet espace est mis en communication avec des cheminées latérales O,O, dans lesquelles s'élèvent les tuyaux à fumée des appareils calorifères et des foyers additionnels. Ces cheminées montent verticalement jusqu'à la coupole et viennent aboutir à la cheminée centrale dans laquelle elles arrivent par un tuyau rampant P.

Dans les loges, les bouches d'appel sont établies dans le fond, à la partie inférieure, et elles débouchent dans des conduits C, qui ne sont que le prolongement des conduits d'arrivée de l'air neuf, dont un diaphragme D fait deux parties complétement distinctes. Ces conduits C aboutissent aussi à la coupole et se rendent dans la cheminée centrale par un rampant R.

Dans les amphithéâtres, les bouches d'appel sont établies dans la partie verticale des gradins, l'espace laissé libre sous les gradins sert de réservoir d'où l'air s'échappe par des gaînes qui montent verticalement et se rendent, comme les précédentes, à la cheminée centrale.

2673. Dans la coupole, une cheminée centrale réunit toutes ces ventilations et porte dans l'atmosphère l'air vicié de la salle. A la base de cette cheminée se trouvent établies des surfaces de chauffe alimentées par des foyers additionnels placés dans les caves, et une couronne de gaz qui devra servir en l'absence du chauffage de la salle à obtenir un appel suffisant.

La cheminée générale porte à sa partie inférieure un registre qui se ferme après la sortie du public et le levage du lustre, et à sa partie supérieure un appareil Morin qui la préserve de la pluie et de l'action contraire des vents. Chacun des conduits d'évacuation porte, comme la cheminée générale, un registre qui se ferme après la sortie du public.

2674. Nous ne connaissons pas d'expériences directes faites pour déterminer les résultats obtenus par ces dispositions ; il est probable que dans une certaine mesure les inconvénients que nous avons signalés relativement au mode de ventilation par appel subsistent à l'Opéra nouveau comme nous avons pu le constater dans les résultats des expériences du général Morin en ce qui concerne le Théâtre-Lyrique. Cependant, dans le cas du nouvel Opéra, le développement plus considérable des espaces qui entourent la scène, espaces qui en hiver sont chauffés séparément, doit atténuer les effets des rentrées d'air qui se font par les voies non prévues, et les courants d'air qui se produisent par les fissures des portes, des vasistas, de la scène, etc., ayant à peu près la température de la scène, peuvent, en définitive, n'avoir que des inconvénients peu sérieux. Il resterait toujours à déterminer si la ventilation se fait régulièrement dans toutes les parties de la salle, et si chacune d'elles reçoit bien effectivement la quantité d'air qui lui est assignée.

Cette insuffisance du mode d'appel a mené à chercher dans l'emploi de la pulsion un remède aux inconvénients signalés. Nous trouvons un exemple de cette méthode dans ce qui a été fait pour le chauffage et la ventilation du théâtre Royal de la Monnaie à Bruxelles. Les travaux nécessaires ont été exécutés dans ce théâtre, déjà construit depuis longtemps, sous la direction de M. Bordiau, architecte, par MM. Geneste et Herscher.

2675. Le théâtre de la Monnaie était autrefois desservi par quatorze petits calorifères à air chaud, répartis dans les dessous et présentant, outre de sérieux dangers d'incendie, des difficultés de service et un fonctionnement imparfait. Pour la ventilation, rien de spécial n'avait été prévu ; le fond des loges seul, à la partie supé-

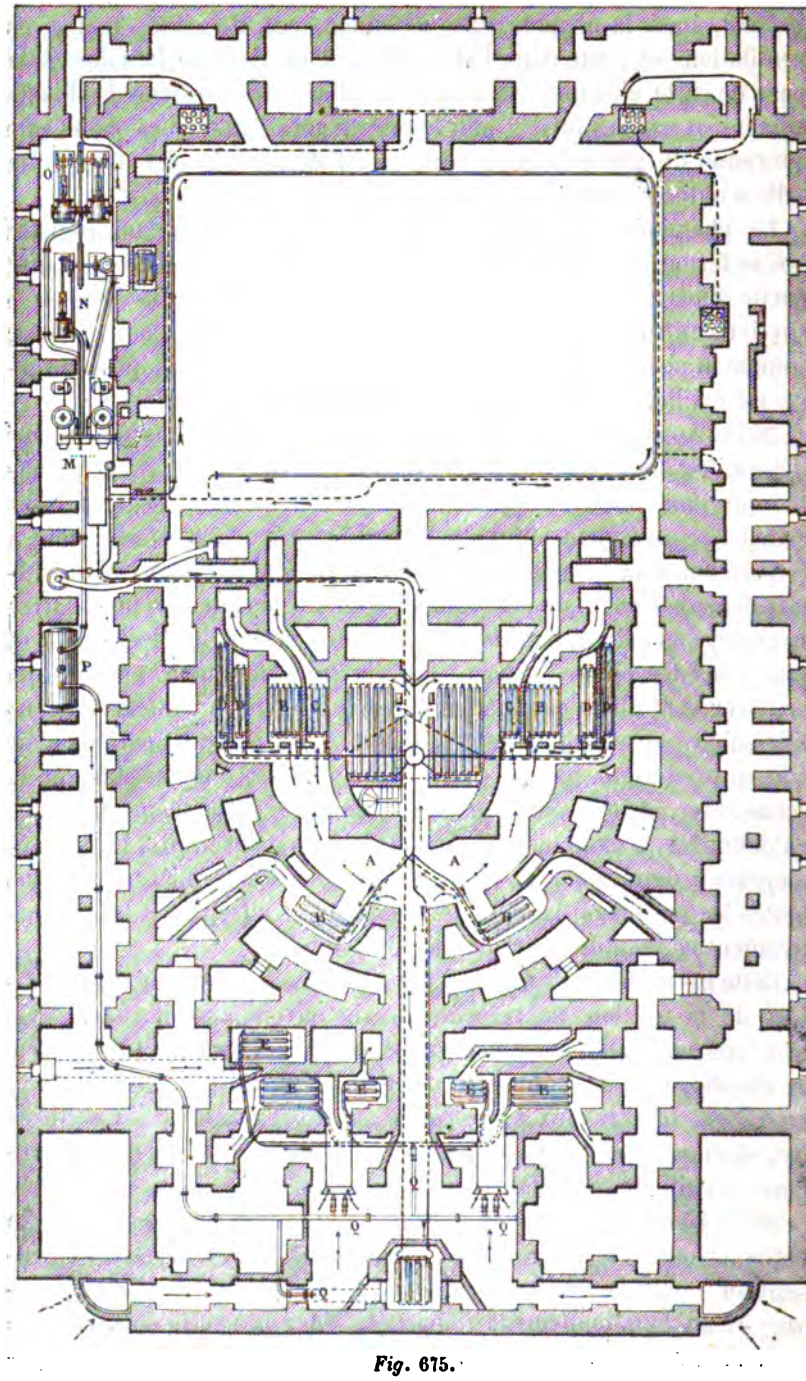


Fig. 675.

rieure, se trouvait mis en communication avec les couloirs au moyen d'ouvertures munies de grillage à mailles fines.

Voici les dispositions qui ont été prises à nouveau, et dont une partie, celle qui concerne la salle proprement dite, a pu déjà, par son fonctionnement, apporter une amélioration considérable dans le régime du théâtre.

2676. Les caves ont été réaménagées pour y préparer l'air de ventilation. Celui-ci, pris sur la grande place de la Monnaie, est amené dans une sorte de vestibule ou réservoir A (fig. 675), sur lequel s'ouvrent plusieurs chambres indépendantes les unes des

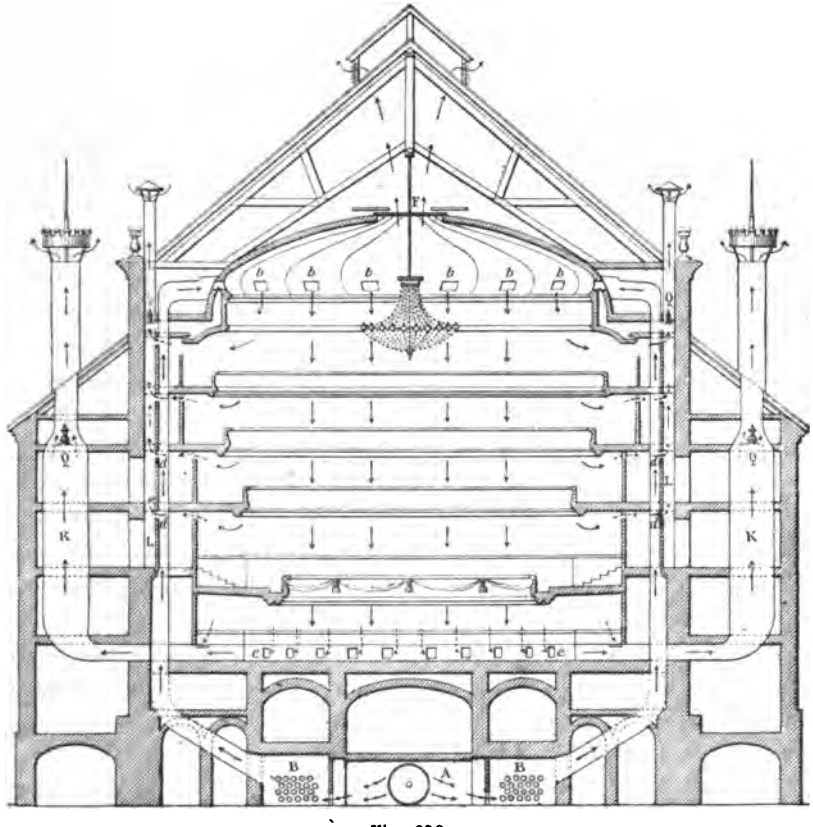


Fig. 676.

autres ; ces chambres communiquent respectivement avec les diverses parties du théâtre ; les unes, B, B, avec la salle au moyen d'ouvertures multipliées *b*, *b* (fig. 676), réparties tout autour du plafond, et les chambres C, C (fig. 675), avec la partie supérieure du

cadre du rideau ; d'autre part, les chambres D, D correspondent avec quelques salons spéciaux et quatre loges principales, et enfin les chambres E, E avec les vestibules, corridors et couloirs ; chaque chambre est munie d'une porte qu'on peut ouvrir à volonté, et pourvue d'une batterie de tuyaux à vapeur également indépendants, en sorte que l'air pur pris au dehors, étant amené par propulsion dans le réservoir A, on peut à volonté envoyer dans les diverses parties de la salle de l'air en quantité, et à température variable à volonté.

2677. L'évacuation de l'air vicié se fait de la salle en partie par la rosace du grand lustre F (fig. 679), au plafond, dont la section d'échappement peut être réglée à volonté, en partie par le fond des loges par les ouvertures *d*, *d* et en partie au moyen d'une série d'orifices *e*, *e* pratiqués tout autour du parterre et de l'orchestre ; ces bouches d'évacuation correspondent à des gaînes-collecteurs K, pour les dernières et L pour les premières, dans lesquelles l'aspiration est produite mécaniquement. Une plus grande force est dépensée pour l'introduction de l'air dans la salle par pulsion, de manière à éviter le plus possible les courants d'air violents, passant par les portes des loges et les couloirs du parterre et de l'orchestre. Dans ce dernier but également, les vestibules et corridors sont convenablement clos du côté de l'intérieur et abondamment chauffés pendant l'hiver. Outre ces dispositions, la salle est chauffée rapidement avant l'arrivée des spectateurs au moyen de bouches spéciales pratiquées dans le sol du parterre.

2678. Les appareils destinés à produire le chauffage et la ventilation sont installés dans le sous-sol ; ils comprennent deux générateurs M de petite capacité, fournissant la vapeur nécessaire au fonctionnement des appareils mécaniques qui mettent l'air en mouvement en même temps qu'au chauffage de l'air insufflé.

Les appareils destinés à fournir le mouvement de l'air pur aussi bien que de l'air vicié comprennent une machine à vapeur actionnant une machine soufflante ; l'air comprimé se rend dans un régulateur de la pression O, d'où il est distribué aux injecteurs Q.

Des appareils spéciaux permettent à la vapeur de se distribuer sans difficulté et à basse pression. Les batteries de chauffage étant en outre indépendantes les unes des autres, on conçoit qu'il est aisé d'obtenir partout une température convenable en hiver. Malgré les difficultés de l'installation, on a pu, avec les dispositions que nous venons de décrire, obtenir une ventilation effective de 30 000 mètres cubes par heure.

OPÉRA DE VIE

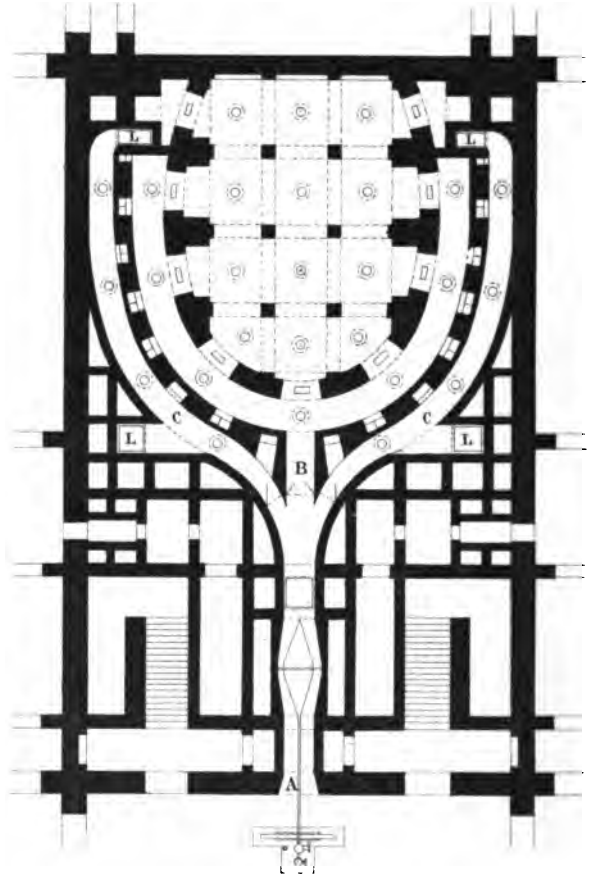


Fig. 680

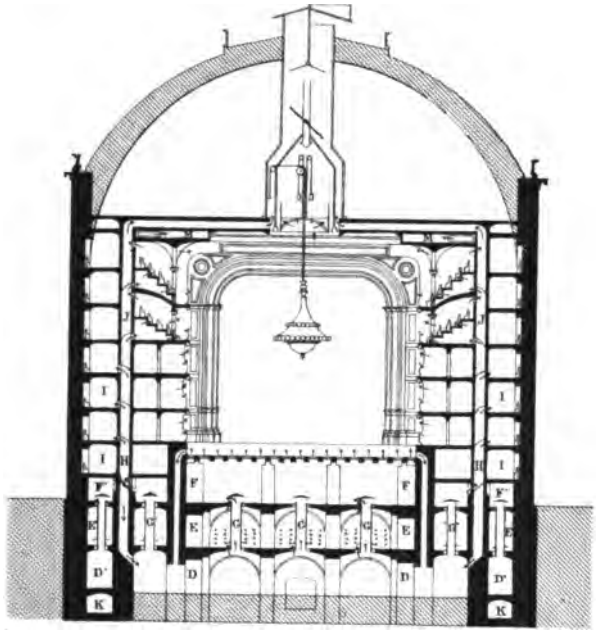


Fig. 681

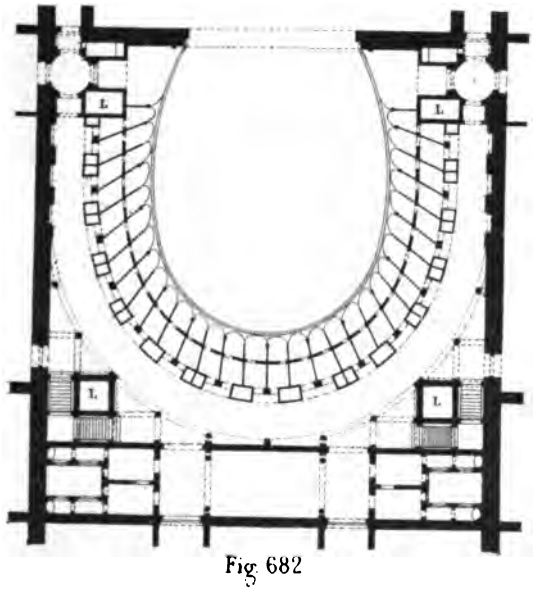


Fig. 682

2679. Les dispositions employées nous paraissent, au point de vue du principe adopté pour la ventilation, supérieures à celles qui ont été précédemment décrites. Cependant elles peuvent donner lieu à quelques observations. L'entrée de l'air neuf par la partie supérieure de la salle et son évacuation par une partie au moins par la cheminée du lustre peuvent rendre une bonne partie de cet air inefficace, en établissant un courant direct des ouvertures d'entrée à la rosace du plafond. Il est vrai que la sortie par les orifices des loges et du parterre est ici rendue indépendante de l'appel du lustre et que l'action mécanique qui la détermine fournit toujours par ces voies, une évacuation qui peut être déterminée à volonté.

Nous avons de plus des réserves à faire sur le moyen adopté pour la mise en mouvement d'air ; nous avons dit (2440) ce qu'il faut penser de l'emploi de l'injection comme moyen de mettre l'air en mouvement ; ce moyen est peu économique et, comme nous l'avons dit, ne doit être utilisé que quand les autres ne sont pas d'un emploi possible.

2680. *Opéra de Vienne* (*Autriche*). — Nous avons à examiner maintenant une solution du problème très-différente des précédentes, et pour laquelle l'étude des moyens a été reprise complétement. C'est celle qui a été adoptée et mise en œuvre à l'Opéra de Vienne par le docteur Bœhm. Les indications générales que nous pouvons fournir sur cette installation sont extraites d'une brochure publiée à Vienne en 1866 (*Sur l'état de la question de la ventilation*) par le professeur Auguste Sicard von Sicardsburg. Cette brochure, avec quelques planches faites pour la collection de la *Wiener Bau-Hütte*, constitue tout ce qui a été publié jusqu'ici sur cette importante installation.

2681. Le nouvel Opéra de Vienne contient 2700 personnes qui se répartissent de la façon suivante :

Étages.	Loges.	Stalles.	Siéges.	Places debout.	Total.
Parterre.....	32	400	160	240	992
1er rang.....	32	»	»	»	216
2e —	30	»	»	»	180
3e —	20	150	172	120	562
4e —	»	90	420	240	750
					2700

2682. On a conservé dans ce théâtre l'emploi du lustre, et on s'est servi de la pulsion comme moyen de ventilation, voici les raisons principales qu'indique l'auteur à ce sujet : il remarque d'abord que

l'emploi du plafond lumineux nuit à l'effet de la salle, à cause de l'éclairage insuffisant des loges basses. Il ajoute ensuite que par les dispositions employées dans le mode d'appel, l'air chaud et vicié de la salle est dirigé vers le bas à l'encontre de sa direction naturelle de façon à s'échapper par le plancher du parterre, que la masse de l'air évacué et celle de l'air entrant dépendent de la différence de température entre l'air extérieur et celui de la cheminée qui surmonte le plafond lumineux, et comme cette différence est variable, la ventilation n'est pas régulière, c'est-à-dire qu'elle est trop forte en hiver et trop faible en été.

Enfin on doit remarquer, dit l'auteur, que la rentrée de l'air frais dans ce système ne suit devant lui le chemin qui lui a été assigné, qu'autant que toute entrée lui est fermée, mais que l'air trouve facilement passage accidentellement par l'ouverture d'une porte ou par les fissures, et qu'il en résulte des courants sensibles et désagréables au voisinage de ces ouvertures.

Ces observations ont conduit aux dispositions adoptées pour la ventilation du théâtre de Vienne représentées figures 680, 681 et 682, la première est une coupe horizontale au-dessous du parterre ; la seconde est une coupe verticale en avant de la scène ; la troisième est une coupe horizontale à la hauteur des loges.

2683. Le lustre occupe dans la salle la place ordinaire ; pendant que la scène est ouverte, il est soulevé de façon à ne pas empêcher la vue de la scène par les galeries supérieures, et sa lumière est renfermée au moyen de 16 couronnes de 25 becs de gaz (*sonnenbrenner*) munies de réflecteurs et placées autour de l'ouverture du plafond ; l'écoulement de l'air pour la sortie suit le chemin naturel, et se fait de bas en haut vers le lustre. L'air neuf, chauffé préalablement et suivant le besoin, est introduit à travers le plancher du parterre et les points les plus bas de toutes les loges et des galeries, avec une vitesse faible et insensible.

2684. L'introduction de l'air neuf est déterminée au moyen d'un ventilateur de Heger actionné par une machine de 16 chevaux ; ce ventilateur est à vis et présente à l'extérieur une série d'aubes directrices comme dans les turbines ; la théorie et la description n'en ont pas été publiées jusqu'à ce jour ; l'air sort du ventilateur avec une pression de $1^{cm},2$; le débit du ventilateur est de 140,000 mètres cubes au maximum.

2685. L'air extérieur arrive par deux puits qui sont ménagés aux deux côtés du théâtre dans le sol du jardin, et se rend dans deux longs

souterrains de $3^m,76$ de hauteur formant un grand réservoir dans lequel l'air se rafraîchit un peu en été et se réchauffe un peu en hiver ; de là il se rend au ventilateur par le conduit A. La section de ce conduit a $2^m,36$ de diamètre ; au point où se trouve le ventilateur elle s'élargit et son diamètre est alors de $3^m,45$; elle se rétrécit ensuite et la section se réduit à $4^{mq},42$; cette section devient ensuite rectangulaire et le canal vient déboucher dans une chambre placée sous la salle où il se divise en trois canaux ; celui du milieu B a $3^{mq},14$ de section et mène l'air dans la chambre placée sous le parterre et les loges, et les deux autres canaux CC, placés sur les côtés et ayant $1^{mq},23$ de section chacun, le conduisent dans la chambre circulaire placée sous le couloir des loges.

2686. L'espace inférieur placé sous le plancher de la salle est partagé en trois étages DD, GG, FF ; c'est dans l'étage inférieur DD qu'arrive l'air du ventilateur ; de là, il se rend directement par des tuyaux G de $0^m,94$ de diamètre dans l'étage supérieur et par des orifices annulaires ménagés autour de ces tuyaux, il pénètre dans l'étage moyen (chambre de chaleur), dans lequel se trouvent des tuyaux de vapeur destinés à chauffer l'air pendant les temps froids de l'année ; cet air échauffé passe par d'autres orifices annulaires ménagés aussi autour des tuyaux G dans la chambre de mélange FF, où il se mêle en quantité convenable avec l'air froid venu d'en bas, afin d'obtenir la température à laquelle il doit pénétrer dans la salle.

2687. L'espace annulaire qui est placé sous le couloir des loges est aussi divisé en trois étages D'D', E'E', F'F' répondant aux mêmes conditions que les trois étages de l'espace central. De la chambre de mélange de celui-ci l'air passe avec une vitesse de $0^m,30$ à travers le plancher percé du parterre, sous les siéges du parterre et sous ceux des loges du parterre, de la première galerie et de la seconde ; de la chambre de mélange de la partie annulaire l'air se rend à la troisième et à la quatrième galerie. Cette séparation de l'alimentation des rangs supérieurs a pour but d'en assurer l'efficacité.

2688. L'air amené par des canaux verticaux H dans les couloirs des loges I, I, entre ensuite dans ces loges par des ouvertures pratiquées dans leur porte même.

2689. L'air amené de la chambre de mélange annulaire, aussi par des canaux verticaux J, J, aux galeries supérieures pénètre dans la chambre creuse placée sous les siéges disposés en amphithéâtre et arrive au public à travers les parois verticales de ces gradins.

2690. Les sections d'introduction sont réparties de la façon suivante :

Couloir du parterre.....	2^{mq},76
Loges de parterre.....	2 ,76
1er rang de loges.....	2 ,76
2e — —	2 ,76
3e — —	1 ,38
3e — galerie.....	2 ,76
4e — —	4 ,13
Parterre.....	54 ,56
	73 ,87

2691 L'air vicié s'échappe par l'ouverture du lustre sous l'influence de l'appel qui résulte de la chaleur du lustre et des *sonnenbrenner*. De plus aux amphithéâtres de la troisième galerie et de la quatrième, où un grand nombre de personnes se trouvent réunies et où le plafond s'élève vers l'arrière, l'air vicié est enlevé à travers des canaux qui partent de la partie supérieure du pourtour du mur de fond et débouchent au-dessus du plafond dans la cheminée centrale ; celle-ci a 4^{m},08 de diamètre et le courant de sortie est maintenu en rapport avec celui de l'air introduit par la machine au moyen d'une valve. La surface libre de passage de la rosace centrale du plafond n'est que de 4 à 5 mètres carrés. Mais à cette surface s'ajoute la section de sortie des amphithéâtres, etc.

2692. La pression dans l'intérieur de la salle n'a pas été mesurée, mais on a pu la constater. Dans le fonctionnement normal, il n'existe aucune différence de pression dans la salle, il n'y a d'ailleurs aucune difficulté pour faire varier la pression dans la salle ; on tend à la maintenir égale ou un peu supérieure à la pression extérieure. Il suffit pour cela que la quantité d'air qui arrive soit égale ou un peu supérieure à celle qui sort de la cheminée. La vitesse d'entrée de l'air dans la salle est très-variable, elle est comprise entre 0^{m},1 et 0^{m},3 ; la température dans la cheminée varie entre 30° et 38°. La température du parterre varie suivant les saisons et le fonctionnement des appareils entre 18 et 23°.

2693. Pour la ventilation d'été, indépendamment des accès d'air que nous avons indiqués, on peut faire arriver de l'air froid par le haut et à travers le plafond ; à cet effet on a disposé sous le canal circulaire qui fournit l'air aux loges, un autre canal K dit canal d'été qui a 2^{mq},45 de section et qui est alimenté d'air pur par une valve placée derrière

le ventilateur et au-dessous de lui. A chacun des quatre angles de la salle se trouve un puits vertical L de 4^{m},90 de section qui porte l'air frais dans la partie creuse du plafond ; de là l'air passe dans la salle par une ouverture MM de 0^{m},62 de large et qui règne au pourtour de la salle.

2694. La brochure de M. Sicard de Sicardsburg rédigée au cours de l'exécution des travaux ne donne qu'une description approximative des dispositions adoptées. A l'achèvement des travaux, des essais superficiels ont été exécutés pour se rendre compte de ce qu'il y avait à faire pour la mise en marche des appareils ; mais on n'en a tiré aucune conclusion au point de vue des effets obtenus, se réservant de faire des expériences plus complètes et plus méthodiques pour lesquelles on a fait des préparatifs considérables, mais auxquelles on a dû surseoir jusqu'à présent ; le volume d'air vicié qui s'écoule par la cheminée n'a pas été mesuré.

2695. Quoiqu'il semble résulter de tous les renseignements particuliers que la ventilation de l'Opéra de Vienne est complétement satisfaisante, il est impossible d'établir sur des données nettes et scientifiques les conditions exactes de cette ventilation ; mais en terminant ce qui concerne ce théâtre, nous appellerons l'attention sur ce qu'il y a de réellement remarquable dans les dispositions adoptées.

L'emploi simultané de la pulsion pour l'introduction de l'air et de l'appel pour l'évacuation permet de maintenir la pression de l'intérieur égale à celle de l'extérieur et par suite d'éviter toute rentrée de l'air par ces voies anormales et permet de régler exactement les volumes d'air introduits.

La séparation de l'alimentation des étages inférieurs de celle des étages supérieurs permet de satisfaire d'une façon plus complète aux besoins de ces derniers.

L'introduction de l'air frais au voisinage direct des spectateurs et la direction des courants résultant de la position des orifices d'entrée et d'évacuation place les auditeurs dans un bain d'air neuf toujours renouvelé, tandis que le système de l'évacuation au plus près des auditeurs les place évidemment d'une façon constante dans l'air présentant le maximum d'impureté, parce qu'il a la composition de l'air expulsé.

2696. La force mécanique qui sert à produire la pulsion est employée dans la journée à élever l'eau dans un réservoir placé à la base du toit et contenant 225 mètres cubes. La vapeur peut être en même temps employée à chauffer les dépendances du théâtre pen-

dant les représentations ; un moteur de 6 chevaux fait mouvoir au besoin les machines du dessus ou du dessous de la scène. En cas d'incendie, on peut employer toute la force des machines à faire mouvoir des pompes puissantes de façon à supprimer tout danger dès l'origine même.

Le prix projeté pour cette installation était de 275,000 francs, et l'entretien devait s'élever à 100 francs par jour en hiver et à 40 francs en été, la quantité d'air qui devait être introduite dans la salle était, d'après les prévisions, de 94,500 mètres cubes par heure soit 35 mètres cubes par personne.

Hôtel continental, à Paris.

2697. Les grands hôtels de voyageurs présentent des conditions très-variées à remplir au point de vue du chauffage et de la ventilation ; le développement des fourneaux de cuisine y est considérable ; on y trouve de grandes salles où doit se réunir un public nombreux d'une façon régulière, comme celles qui servent à la table d'hôte, au restaurant, etc. ; d'autres enfin ne servent que d'une façon accidentelle et dans des occasions plus ou moins fréquentes, salles de noces, de concert, etc. ; puis viennent de nombreux couloirs et escaliers, et enfin un plus ou moins grand nombre de chambres particulières servant d'habitation aux voyageurs.

Nous trouvons un exemple de la solution de ce problème complexe dans l'hôtel Continental, construction nouvelle édifiée par M. Blondel, architecte.

Le service de l'hôtel exige l'emploi d'appareils à vapeur pour un grand nombre d'usages : notamment l'alimentation des réservoirs à eau pour le service des ascenseurs des bains, des postes d'eau chaude, et les besoins en cas d'incendie, etc. Cette considération jointe à celle que nous avons exposée déjà plusieurs fois, à savoir la commodité que présente la vapeur comme véhicule de chaleur, l'ont fait adopter pour le chauffage de toutes les parties du bâtiment. La vapeur est enfin employée à mettre en mouvement les appareils mécaniques destinés à produire la ventilation.

Les installations de ces différents services ont été faites par MM. Geneste fils et Herscher frères.

2698. Dans le carré qui s'étend sous le sol de la cour d'honneur de l'hôtel se trouvent placés les générateurs à vapeur et les appareils producteurs de la force motrice (fig. 677) ; en B, B sont les

générateurs; C est le carneau commun des générateurs qui se rend à une cheminée C′, placée dans une grande gaîne M, qui sert à ven-

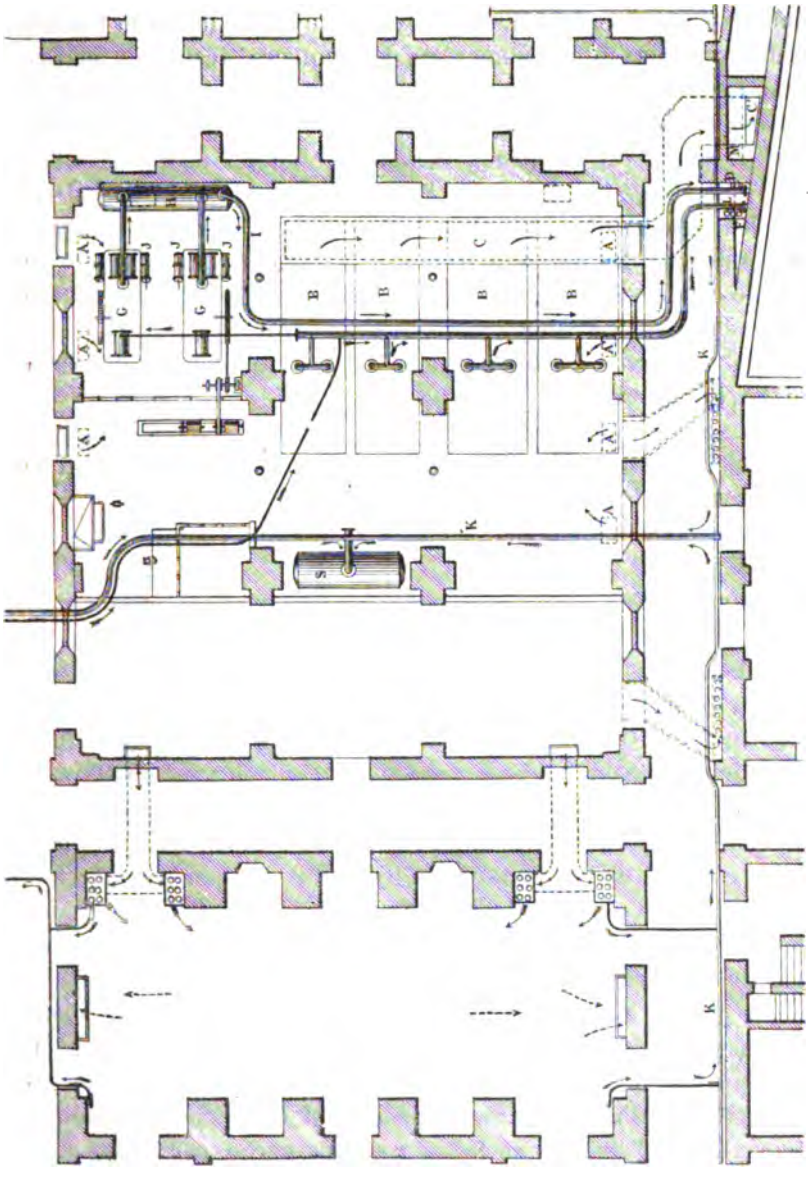


Fig. 617.

tiler la cave des générateurs; A A sont des prises d'air neuf pratiquées dans le sol de la cour. E est le tuyau fournissant la vapeur

d'une part en G aux machines, d'autre part en F aux colonnes montantes qui la distribuent aux différents étages ; les machines à vapeur actionnent des pompes de compression qui envoient l'air comprimé dans un réservoir H, d'où il est envoyé par le tuyau I à des tuyaux verticaux D qui alimentent les moteurs destinés à mettre en mouvement les appareils de ventilation ; les tuyaux de vapeur et ceux qui transportent l'air comprimé sont placés dans une même gaîne L qui s'élève jusqu'aux combles de l'hôtel et qui sert, en même temps que la gaîne M, à l'évacuation de l'air vicié de la cave des générateurs : J, J sont les pompes qui envoient l'eau aux réservoirs pour les différents services. K est le tuyau collecteur de l'eau de condensation de toutes les surfaces de chauffe, il amène l'eau condensée dans une bâche S.

2699. L'ensemble du chauffage et de la ventilation est divisé en trois parties qui sont :

1° Le service des salons de noces et des salons de concerts ;

2° Celui des tables d'hôte, du restaurant, du café, du salon de conversation et autres analogues ;

3° Et enfin celui des appartements, chambres, couloirs et escaliers.

Il faut ajouter à ces trois grandes divisions quelques installations complémentaires relatives aux cuisines, aux salles à manger du personnel, etc.

2700. Les grandes salles de concert sont situées au rez-de-chaussée à l'angle de l'hôtel formé par la rue de Mont-Thabor et une rue projetée. La ventilation de ces salles est calculée sur 10,000 mètres cubes d'air frais à introduire par heure. Ce qui suppose 30 mètres cubes par personne, lorsque la salle est pleine ; l'air pur, pris sur les combles du bâtiment (fig. 678), reçoit son mouvement d'hélices B, descend dans des gaînes A, placées dans l'épaisseur des murs et vient aboutir à des calorifères à vapeur établis dans l'épaisseur des parois en C′ partout où la construction le permet.

L'air pénètre dans la salle par des orifices ménagés en O′O′ dans l'ornementation de la corniche et de l'entablement des colonnes qui le portent. En outre des surfaces de chauffe directe, D′ avec prises d'air extérieur sont réservées, près du sol entre chaque fenêtre ; l'évacuation de l'air vicié se fait, en grande partie, par le bas de la salle en P′P′, et, en partie moindre, par la partie la plus élevée en S′, au-dessus des appareils d'éclairage ; les conduits d'évacuation sont reliés à des cheminées spéciales, montant jusqu'aux combles, et dans

lesquelles des hélices, mues mécaniquement, provoquent l'appel.

Les salons de noces, placés au premier étage, au-dessus des salles

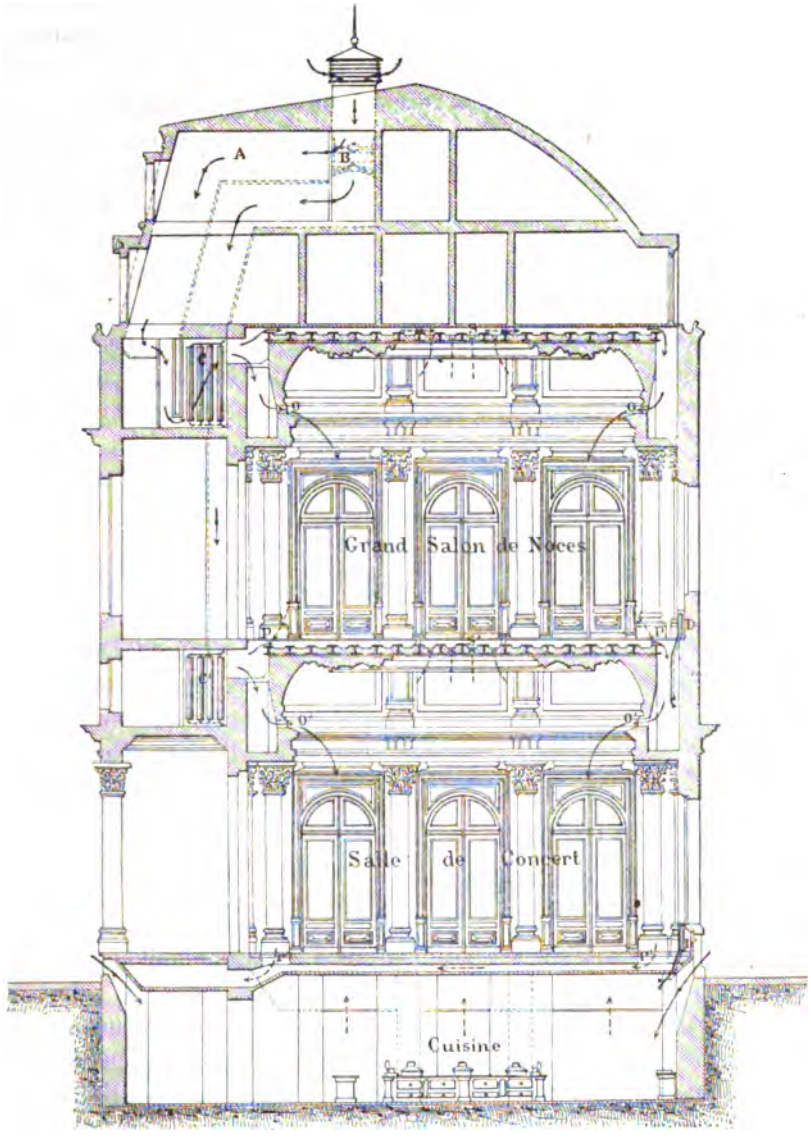


Fig. 678.

de concert, sont ventilés d'une façon analogue ; l'air pris au toit et poussé par des hélices est chauffé au moyen de surfaces suffisantes

C placées au plafond de la salle ; il pénètre en O, O ; il y a comme dans le cas précédent des surfaces de chauffe directes D; l'air vicié est évacué en partie par des ouvertures P,P pratiquées dans le sol, et en partie par des ouvertures S placées au plafond au-dessus des lustres,

Les locaux accessoires dépendant des salons de noces et de concerts sont chauffés par des surfaces de chauffe apparentes.

La table d'hôte, le restaurant, le café, les salons de conversation sont placés au rez-de-chaussée; le chauffage de ces salles est obtenu par des surfaces de chauffe placées dans le sous-sol ; l'air neuf pris au-dessus des toits est amené au contact de ces surfaces au moyen d'hélices ; c'est aussi une action mécanique qui provoque l'appel de l'air vicié.

2701. Pour la table d'hôte, le restaurant et le café, l'action de l'appel se fait plus énergiquement que celle de l'introduction, de façon à provoquer une dépression à l'intérieur de ces locaux et à éviter toute communication d'odeur du dedans au dehors.

L'air pur, chaud ou frais, arrive dans ces salles par des grilles établies, au pourtour, dans le parquet; l'air vicié est évacué en partie par des bouches placées sur le sol, en partie par d'autres bouches placées dans le plafond, au-dessus des appareils d'éclairage.

Le salon de conversation est chauffé par des surfaces de chauffe apparentes placées dans les angles de façon à ne gêner en rien la circulation ; l'évacuation se fait en hiver par de grandes cheminées à feu apparent, placées à l'extrémité des salles ; l'été ces cheminées produisent encore l'appel, mais au moyen de rampes à gaz placées à leur intérieur.

2702. Les chambres de l'hôtel sont pourvues de cheminées qui fournissent naturellement la ventilation.

Les couloirs et escaliers sont chauffés par des surfaces à vapeur apparentes, et ventilées par les appareils d'éclairage dont l'action est pour ainsi dire continue.

2703. Au-dessus de tous les appareils d'éclairage se trouvent des ouvertures qui communiquent avec des cheminées d'évacuation se réunissant pour former des cheminées générales dans lesquelles on a prévu la possibilité d'un appel supplémentaire. Cette disposition a pour effet de faire disparaître immédiatement l'air vicié provenant de la combustion du gaz.

2704. Les cuisines sont placées directement sous la grande salle de concert et la température élevée qui y règne, surtout en été,

aurait l'inconvénient grave d'échauffer le plancher de cette salle d'une façon fâcheuse ; pour obvier à cet inconvénient, on a pratiqué au-dessus des cuisines un double plafond Q, Q (fig. 684), et le vide réservé entre les deux plafonds a été utilisé comme conduit général d'évacuation de l'air vicié de la salle des concerts ; la chaleur des cuisines, qui sans cette disposition eût été nuisible, est utilisée efficacement au profit de la ventilation.

Les cabinets d'aisances sont ventilés isolément par appel au moyen de petites cheminées dans lesquelles les brûleurs à gaz provoquent l'ascension de l'air vicié.

2705. La superficie occupée par tous les services du sous-sol : générateur, machines, soute à charbon, etc., est de 345 mètres carrés. La surface couverte des bâtiments est d'environ 4,500 mètres carrés. Les services du chauffage et de la ventilation occupent donc moins de 9 p. 100 de la superficie totale.

La surface de chauffe totale, y compris les appareils de rechange, est de 140 mètres carrés.

La machine à vapeur est de la force de 30 chevaux.

Hotel de ville de Paris.

2706. Une des applications les plus complexes et les plus remarquables du chauffage à vapeur et de la ventilation mécanique est celle qui est en cours d'exécution au nouvel Hôtel de ville de Paris.

Bien que cet édifice ne doive être achevé que dans quelques années, toutes les dispositions relatives au chauffage et à l'éclairage sont dès maintenant arrêtées, ce qui nous permet d'en donner une description sommaire.

L'emploi de la vapeur à basse pression pour le chauffage et d'appareils mécaniques pour la ventilation a été adopté par la ville de Paris, conformément aux conclusions de M. Emile Trélat au nom d'une première commission, conclusions confirmées par une enquête spéciale ordonnée par le conseil municipal de Paris (1).

A la suite d'un examen comparatif des différents systèmes usités jusqu'à ce jour, les dispositions proposées par la maison Geneste et Herscher ont été adoptées.

2707. C'est avec raison que les architectes du nouvel Hôtel de

(1) Rapport présenté par M. Viollet-le-Duc, au nom de la cinquième commission, sur le projet de chauffage et de ventilation du nouvel Hôtel de ville de Paris. Annexe au procès-verbal de la séance du 6 juillet 1876.

ville, MM. Ballu et Deperthes, ont voulu arrêter dès le début des travaux les dispositions particulières au chauffage et à la ventilation.

Bien qu'avec le système choisi, ces dispositions soient moins encombrantes que celles que nécessitent les chauffages à eau chaude ou à air chaud, il n'en faut pas moins dans les maçonneries réserver certains passages ou gaînes pour les tuyaux de vapeur et pour l'air de la ventilation ; ces travaux, qui sont faciles à exécuter au cours de la construction, obligent, quand on les fait après coup, à des reprises toujours difficiles, coûteuses et parfois même impossibles.

Les architectes ont tenu en outre à ce que toutes les installations complémentaires présentassent un caractère d'ensemble et qu'elles fissent, en quelque sorte, partie intégrante de l'édifice.

Cette condition obligeait donc à faire l'étude des questions de ventilation et de chauffage avant l'édification des bâtiments et d'en poursuivre la réalisation au fur et à mesure de la construction. Aussi pouvons-nous en donner dès aujourd'hui une description précise et qui ne pourra être modifiée que sur quelques points de détail.

2708. Le problème était, comme nous l'avons dit en commençant, éminemment complexe : le nouvel Hôtel de ville comporte, en effet, un ensemble de services indépendants, tous différents les uns des autres, susceptibles de fonctionner ensemble ou séparément. Ces services ont d'ailleurs pour chacun des exigences variables sous le double rapport du chauffage et de la ventilation. On peut les diviser en cinq groupes principaux :

1° Celui du conseil municipal, comprenant la grande salle du conseil, les salles de commission, de bureaux spéciaux, etc. ;

2° Le service des bureaux, comprenant tous les services divers de la ville de Paris et de la préfecture de la Seine ;

3° Le service des emprunts et tirages qui comprend les salles des caisses, des titres, et les grandes salles où le public afflue à certaines dates pour le paiement des coupons, les versements d'emprunts, etc. ;

4° Le service du préfet comprenant des appartements, des salons de réception, des cuisines, des écuries, des communs, etc. ;

5° Enfin le service des fêtes comprenant les grands salons du premier étage.

2709. La figure 685 représente le plan du sous-sol de l'Hôtel de ville nouveau. C'est dans ce sous-sol que sont disposés les générateurs, machines, calorifères à vapeur, etc. Au centre et au-dessous de la cour

NOUVEL HÔTEL D

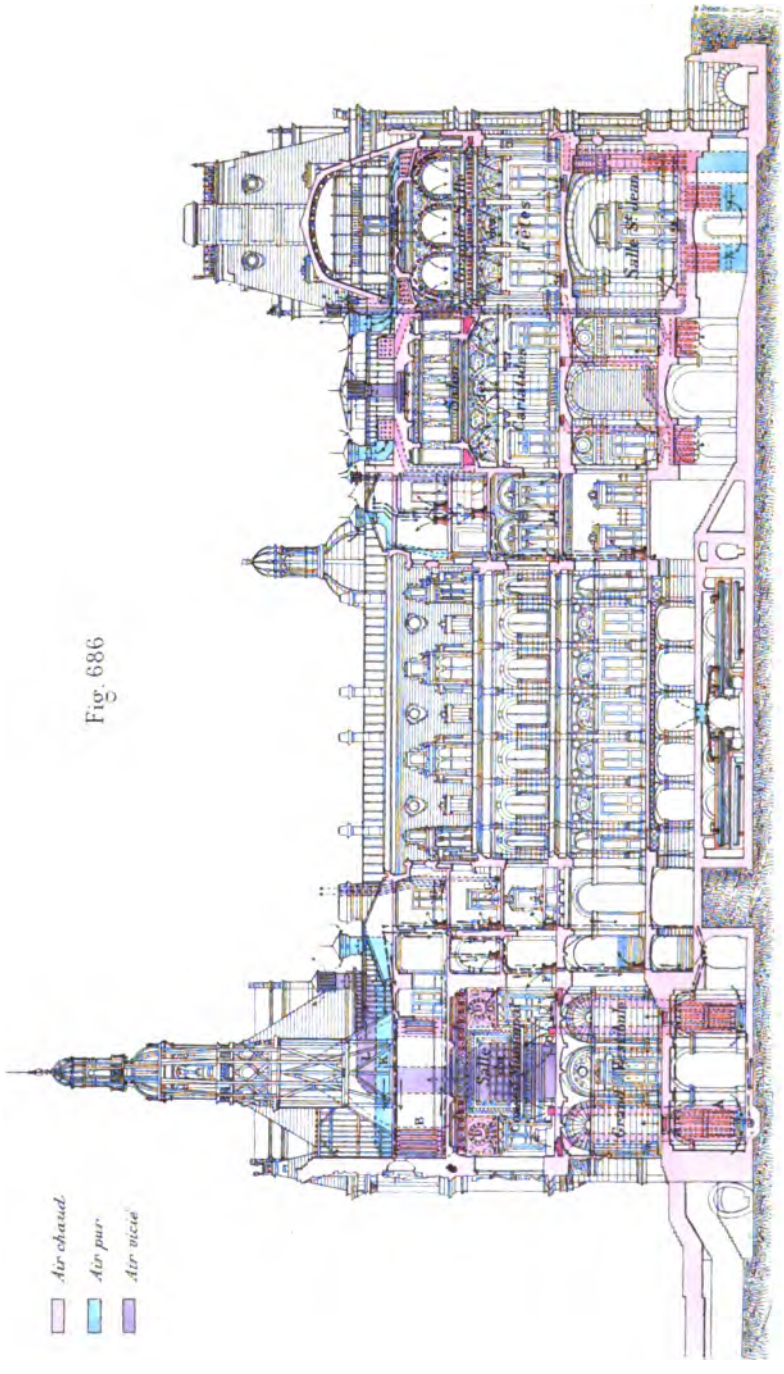


Fig. 686

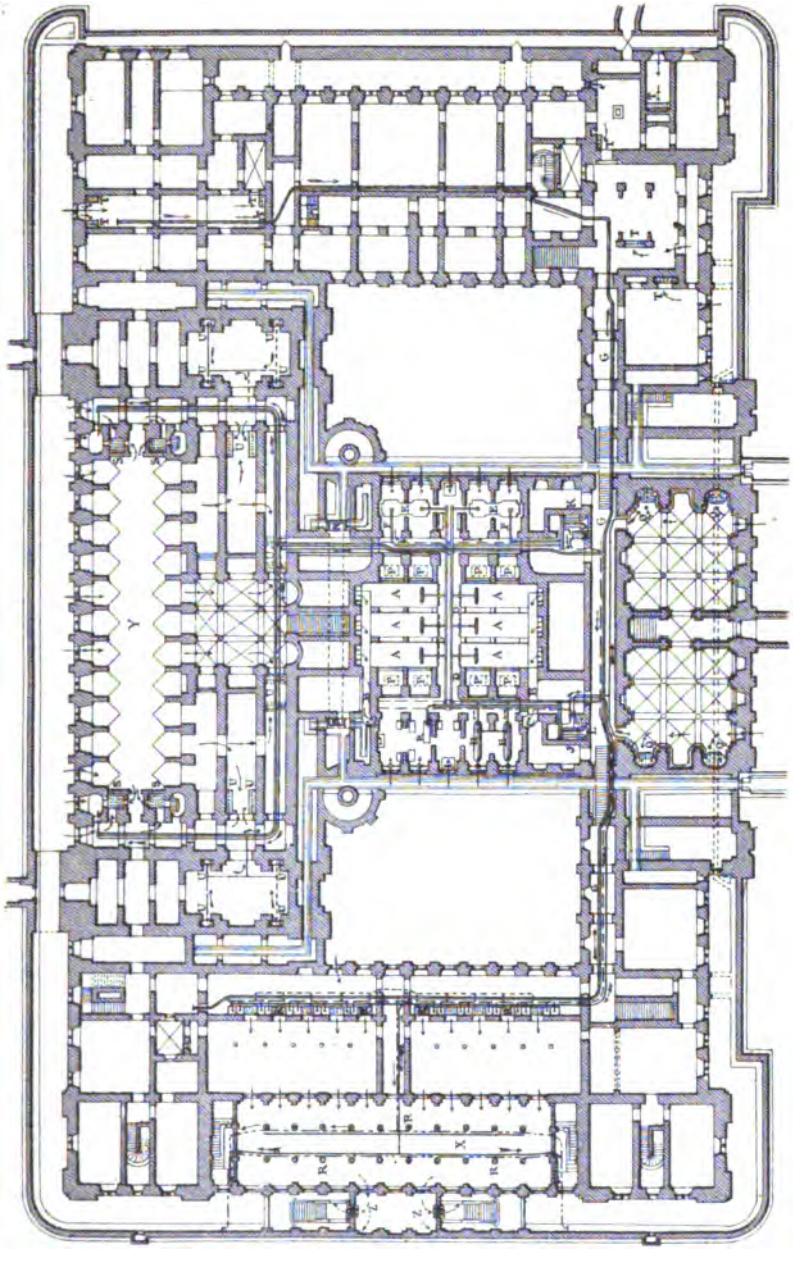


Fig. 685

centrale sont disposés six générateurs A, A communiquant ensemble et pouvant fonctionner simultanément ou séparément ; cependant ils sont prévus d'une puissance suffisante pour que le fonctionnement simultané des six générateurs ne soit jamais nécessaire. B, B sont les carneaux de fumée qui aboutissent à des cheminées C ; D, D sont des tuyaux de vapeur qui se rendent d'une part aux machines motrices E, E et d'autre part à la chambre de distribution J, d'où partent cinq tuyaux desservant chacun un des services spécifiés plus haut, sauf la canalisation spéciale aux emprunts et tirages, dont les locaux sont au rez-de-chaussée et au sous-sol ; toutes les prises de vapeur montent dans une cheminée L, verticale jusqu'au comble. Cette cheminée sert à l'évacuation de l'air vicié de la salle des générateurs ; des prises de vapeur partent des conduites horizontales présentant cependant une légère pente dans le sens du mouvement de la vapeur, elles desservent une série de tubulures communiquant aux descentes verticales sur lesquelles sont greffées les surfaces de chauffe des divers locaux.

Les tuyaux de condensation, ou collecteurs partiels établis parallèlement au tuyau de descente de vapeur et recueillant l'eau de condensation, mènent cette eau dans le sous-sol où elle est ramenée par un collecteur G aux bâches H d'où elle est reprise pour l'alimentation des générateurs.

2710. Le branchement des conduites verticales sur les conduites distributrices horizontales des combles se fait par l'intermédiaire d'un appareil détendeur de pression (1977) réglé à une pression très-basse, de façon qu'en aucun cas on ne puisse avoir un appareil, ou même un tuyau de vapeur quelconque en pression effective à l'intérieur de la partie habitée de l'édifice.

Chaque poêle ou surface de chauffe est, en outre, pourvu d'un appareil purgeur (1980) qui laisse automatiquement échapper l'air et l'eau condensée, mais ne permet en aucun cas la sortie de la vapeur non utilisée.

Ces dispositions font qu'on est assuré que tous les appareils ou surfaces de chauffe du bâtiment participeront également à la distribution de vapeur et que les locaux les plus éloignés des générateurs seront desservis aussi rapidement et aussi complétement que les plus rapprochés. FF sont des tuyaux qui mènent l'air comprimé obtenu par l'action des machines à une chambre de distribution K, d'où cinq tuyaux spéciaux qui s'élèvent dans une cheminée M le distribuent aux différents points des cinq services où il est nécessaire d'ac-

tionner des appareils de ventilation. N, N sont des cheminées servant à l'arrivée de l'air pur dans la salle des générateurs; P, P sont des soutes à charbon; Q, Q sont des calorifères pour le service du conseil municipal; R, R des poêles et calorifères pour le service des emprunts et des tirages (salle du public et des titres); S, S les calorifères des emprunts et tirages (salle Saint-Jean); T, T, les calorifères du préfet, et U, U les calorifères du service des fêtes.

2711. Le service du conseil municipal comprend la grande salle du conseil et ses dépendances; l'introduction de l'air chaud ou froid dans la grande salle se fait dans la proportion de 100 mètres cubes par heure et par personne, soit en totalité 10,000 mètres cubes par heure.

Les surfaces de chauffe sont établies partie en contre-bas de la salle en A (fig. 686), partie en contre-haut en B et correspondent à deux séries de bouches d'introduction dont les unes placées sur le sol C servent au chauffage préalable rapide avec ventilation restreinte, et les autres D placées à mi-hauteur, et E au voisinage du plafond sont destinées à fournir pendant les séances une ventilation abondante; l'air est mû mécaniquement aussi bien à l'entrée qu'à la sortie. Un léger excès est assuré à la pression de l'air à l'introduction de façon à empêcher la rentrée dans la salle des courants d'air nuisibles venant des portes et des fenêtres.

L'évacuation de l'air se fait par la partie basse de la salle, au moyen d'ouvertures réservées sur les gradins et convenablement réparties. Les dépendances du conseil municipal: vestiaire, bureaux, annexes, sont chauffées au moyen de poêles apparents F munis de prises d'air extérieures, des gaînes G servent à l'évacuation de l'air vicié.

K est la prise d'air frais et L, la sortie de l'air vicié de la grande salle; toutes deux contiennent une hélice pour donner le mouvement à l'air.

2712. Le service des bureaux présente au point de vue du chauffage et de la ventilation des dispositions très-simples par cette raison que dans aucune des pièces affectées à ce service, l'agglomération n'est assez grande pour motiver l'adoption de moyens de ventilation mécanique et que partout on a pu établir des surfaces de chauffe apparentes avec prises d'air extérieur. Tous ces locaux sont cependant pourvus de cheminées d'évacuation pour profiter autant qu'on le peut de la ventilation naturelle qu'on pourra d'ailleurs augmenter au moyen de quelques becs de gaz placés dans les cheminées.

2713. Dans les couloirs, galeries, escaliers, etc., le renouvellement de l'air étant toujours plus que suffisant par les ouvertures accidentelles, on a seulement prévu des surfaces de chauffe à vapeur pour assurer une température modérée, quel que soit l'abaissement de la température extérieure.

2714. Le service des emprunts et des tirages a nécessité l'établissement de vastes salles servant aux versements, paiements de coupons, tirages, remboursements, etc., toutes opérations pour lesquelles le public peut arriver en foule à certaines époques de l'année. Outre les salles des caisses, des titres et les bureaux où se trouvent les employés, trois grandes salles sont spécialement affectées aux usages que nous venons d'indiquer, à savoir : une première en sous-sol X (fig. 685), et une seconde au rez-de-chaussée ayant chacune environ 450 mètres carrés de superficie ; enfin la salle Saint-Jean placée au-dessus de Y, et servant plus spécialement au tirage des obligations ; elle sert aussi aux opérations de la conscription ; sa superficie est d'environ 450^{mq}.

Pour la salle du sous-sol, qui longe la rue de Rivoli, on emploie vingt surfaces de chauffe directes formant la base des colonnes en fonte qui portent la voûte de la salle. L'air pur de ventilation est envoyé à la partie supérieure de cette salle, après avoir traversé des calorifères établis dans une grande galerie latérale, enfin l'air vicié sort par les travées donnant sur le saut-de-loup ; cette évacuation étant produite au moyen d'un appel mécanique établi sous l'escalier Z menant à cette salle.

La salle du rez-de-chaussée est chauffée par huit grandes surfaces de chauffe apparentes ; l'air de ventilation traverse des calorifères établis en sous-sol et pénètre dans la salle par des ouvertures ménagées sur toute sa longueur dans les grandes travées vitrées du côté des bureaux. L'air pur, frais ou chaud, débouche ainsi à 2^{m},50 ou 3 mètres au-dessus du sol ; pour le cas particulier de cette salle très-haute et recouverte d'une charpente en fer vitrée, l'évacuation se fait par des châssis ménagés sur toute la longueur de cette charpente.

Pour la salle Saint-Jean, tant à cause des usages auxquels elle est destinée qu'à cause de son style architectural, les surfaces de chauffe directes en ont été absolument exclues ; le chauffage et la ventilation sont faits au moyen de quatre grands calorifères à vapeur établis en sous-sol dans des chambres correspondant aux quatre angles de la salle située immédiatement au-dessus ; l'air pur, chaud

ou frais, après avoir traversé ces calorifères, s'engage dans une série de carneaux ménagés dans les tympans de la voûte qui porte le dallage ; ces carneaux aboutissent à une série de bouches distribuées en deux lignes parallèles de chaque côté de la salle.

L'établissement du régime et le chauffage de l'air de ventilation se fait donc par les calorifères mêmes dans lesquels l'air est introduit mécaniquement au moyen d'hélices qu'on met en mouvement quand le public afflue dans la salle ; la température doit être maintenue constante, tout en portant le renouvellement d'air à 25,000 ou 30,000 mètres cubes par heure.

L'évacuation se fait par une troisième ligne de bouches établies dans l'aire même de la salle par un système analogue de conduits horizontaux ménagés dans l'épaisseur de la voûte; l'air vicié est conduit à deux cheminées d'évacuation placées dans les gros murs de l'édifice.

Les moyens mécaniques employés pour l'introduction de l'air pur et l'évacuation complémentaire de l'air vicié sont calculés pour fournir 20,000 mètres cubes par heure dans chacune des deux premières salles et 30,000 mètres cubes dans la troisième.

2715. Le service du préfet comprend : en sous-sol, les cuisines ; au rez-de-chaussée, les écuries, remises et dépendances diverses ; à l'entre-sol, des appartements particuliers ; enfin, au premier étage. des salons de réception, le cabinet du préfet, son secrétariat et la grande salle à manger des réceptions officielles.

Les appartements particuliers de l'entre-sol, tels que chambres à coucher, salles à manger, grand et petit salon, sont chauffés au moyen de surfaces à vapeur en contre-bas ; elles chauffent de l'air qui alimente des bouches de chaleur convenablement réparties dans chacune des pièces à chauffer ; dans les salons et la grande salle à manger du premier étage, le régime est également établi par des surfaces de chauffe placées en contre-bas, mais dont l'action est limitée au chauffage préalable des locaux.

Le chauffage et la ventilation mécanique nécessaires quand les salons sont occupés se font au moyen de surfaces de chauffe placées dans les combles, et sur lesquelles l'air pur s'échauffe à un degré convenable avant d'être introduit par des ouvertures placées pour la plupart à mi-hauteur des salons.

Cet air introduit par une action mécanique établit dans les pièces un excès de pression très-faible, mais suffisant néanmoins pour éviter les rentrées d'air.

L'air vicié de ces grands salons du premier étage est évacué en majeure partie par des bouches placées au niveau du sol le long des murs et communiquant avec des cheminées ménagées dans la construction et pourvues d'hélices produisant l'appel nécessaire. Une autre partie est évacuée par le haut en même temps que les gaz chauds et viciés produits par la combustion dans les lustres ; cette fraction d'air vicié va rejoindre dans les combles les gaînes où se rend l'air vicié évacué à la partie inférieure.

On a appliqué les mêmes dispositions d'ensemble à la grande salle à manger de gala. Seulement au lieu d'y envoyer par l'insufflation un excès d'air neuf, on donne au contraire un excès de puissance à l'appel de manière à éviter la communication des odeurs du dedans de la salle avec le dehors.

Les cuisines, les écuries et les closets sont ventilés par appel. Si pour la grande salle à manger il faut des moyens de ventilation puissants, mais n'agissant qu'à de rares intervalles, il faut au contraire pour les écuries, cuisines et closets une ventilation beaucoup moins énergique, mais fonctionnant d'une façon permanente. On obtient facilement ce résultat pour les cuisines en faisant passer les tuyaux de fumée des fourneaux dans une gaîne de ventilation, où il se produit ainsi un appel constant de l'air vicié. Dans les écuries et les closets, on établit des brûleurs à gaz qui servent en même temps d'appareils d'éclairage.

La ventilation mécanique est prévue pour le service du préfet à raison de 8000 à 10000 mètres cubes pour chaque grand salon, de 20000 à 25000 pour la grande salle à manger.

2716. Le service des fêtes comprend l'escalier d'honneur avec ses paliers et galeries d'accès, les grands salons du premier étage et la grande galerie des fêtes qui se trouve au-dessus de la salle Saint-Jean.

Le régime ou chauffage préalable est établi dans tous ces salons par des surfaces de chauffe placées en contre-bas, et desservant des bouches de chaleur placées sur le sol ; aussitôt que commence l'occupation des salons, on arrête l'arrivée de la chaleur sur le sol, et l'on met en mouvement les appareils mécaniques qui doivent fournir les résultats suivants : introduction de l'air plus ou moins chauffé, selon que les salons sont plus ou moins occupés ; introduction d'un volume d'air proportionné à l'occupation des salons et pouvant atteindre, dans le cas où les salons seront remplis, 100000 mètres cubes d'air par heure ; arrivée de l'air à la partie haute des

salons et à mi-hauteur ; évacuation de l'air vicié pour les trois quarts du volume total à la partie basse, et pour un quart à la partie haute, au-dessus des appareils d'éclairage ; léger excès dans l'introduction de l'air sur l'appel, de façon à obtenir une pression plus forte à l'intérieur, ce qui fournit un courant très-faible d'air des salons aux couloirs.

Ce chauffage des escaliers est établi à niveau du sol avec faible ventilation. La température des salons est maintenue moins élevée dans les salons que dans les escaliers et dépendances.

2717. La superficie occupée par le nouvel Hôtel de ville de Paris est notablement supérieure à celle de l'ancien. La construction primitive n'occupait guère qu'une surface de 6300 mètres carrés, tandis que le nouvel édifice couvre environ 9000 mètres carrés.

Le volume total des pièces chauffées par la vapeur et ventilées, soit naturellement, soit mécaniquement, n'est pas inférieur à 150000 mètres cubes; enfin le volume d'air à fournir mécaniquement aux salles du conseil municipal, des emprunts et tirages, aux salons du préfet et aux grands salons des fêtes, peut s'élever à 362000 mètres cubes par heure.

Les générateurs présentent une surface de chauffe totale de 250 mètres carrés; cette surface suppose un excès suffisant pour assurer le service pendant le nettoyage et les réparations, et fournit, dans tous les cas, outre la vapeur employée au chauffage, celle qui est dépensée pour la mise en mouvement des appareils de la ventilation mécanique.

Palais d'hiver de l'Empereur de Russie à Saint-Pétersbourg.

2718. A l'exposition d'hygiène et de sauvetage de Bruxelles, la société impériale polytechnique de Russie a présenté le mode de chauffage et de ventilation employé dans la partie de ce palais réservée aux appartements de l'Impératrice.

Le chauffage est fait en partie au moyen de quatre calorifères en fonte à nervures placés dans le sous-sol; l'air s'y échauffe à une température de 25 ou 30°, s'élève ensuite dans des gaînes pratiquées dans l'épaisseur des murs de façade et est amené de là dans l'intervalle laissé dans chaque fenêtre par deux châssis vitrés qui la garnissent; l'air pénètre dans la salle par des orifices pratiqués au-dessus des fenêtres ; au-dessous de ces mêmes fenêtres se trouvent des orifices d'évacuation de l'air vicié, qui communiquent avec des cheminées d'appel.

Dans une autre partie des appartements, on chauffe au moyen de deux calorifères à eau dont la surface de chauffe est formée de plaques de fonte garnies de nervures verticales ; l'eau est chauffée dans des bouilleurs. L'air neuf, après avoir été chauffé, traverse un espace ou tombe constamment de l'eau en pluie fine, et se trouve ainsi débarrassé des poussières, et de plus prend le degré d'humidité convenable ; cette précaution dont nous avons parlé déjà plusieurs fois est rendue surtout nécessaire en Russie par suite de la sécheresse extrême qu'acquiert l'air dans les grands froids ; l'air chaud est amené par des gaînes verticales à la partie supérieure des appartements et pénètre dans les salles par des orifices pratiqués dans des corniches ; l'air vicié est entraîné par des cheminées d'appel à travers des orifices placés en haut et en bas de la pièce ; les orifices inférieurs sont masqués par les meubles ; ceux d'en haut, par les ornements des murs et des plafonds.

Le salon de réception et les salles qui en dépendent peuvent contenir 300 personnes et sont éclairés par 4000 bougies, le renouvellement d'air y est de 13000 mètres cubes ; on y introduit l'air neuf à une température comprise entre 10 et 15°.

2719. L'idée de faire passer l'air chaud entre l'espace laissé par de doubles fenêtres appartient à M. Flavitsky, de Saint-Pétersbourg, qui l'y a appliqué dès 1874, dans différents édifices publics ou particuliers. On se propose ainsi d'empêcher les inconvénients qui résultent des rentrées d'air froid qui se font dans le système de l'appel par les fissures des fenêtres et par les joints des vitres, et aussi du refroidissement qui résulte de la présence même des fenêtres ; celles-ci en effet laissent passer une quantité de chaleur beaucoup plus grande que celle que laissent passer les murs ; il en résulte un refroidissement considérable de l'air de la pièce qui est en contact avec elle et de là des remous très-désagréables et même dangereux pour les personnes qui sont placées près de ces fenêtres. M. Flavitsky complète son système en faisant arriver l'air pris directement sur la façade autour des tuyaux de chauffage à eau ou à vapeur ou à air chaud placés dans une chambre pratiquée dans l'épaisseur du mur et au-dessus de la fenêtre ; des registres sont placés 1° à l'introduction de l'air dans la chambre de chauffage ; 2° entre la chambre de chauffage et l'espace libre laissé entre les châssis de fenêtre ; 3° entre celui-ci et l'orifice d'entrée dans la salle. Cette disposition, employée pour le chauffage, a pour but de parer à l'inconvénient qui résulte du dépôt des poussières dans les conduits de l'air

chaud dans les autres systèmes. Le parcours de l'air avant son introduction dans la pièce est très-court, et la portion traversée est d'un nettoyage facile.

Pour atteindre un but analogue dans les appartements de l'impératrice, on a garni les parois des murs et le plancher de la chambre du calorifère ainsi que les conduits d'air au moyen de faïence vernissée.

Le système de M. Flavitsky supprime les inconvénients relatifs aux rentrées d'air et au refroidissement par les croisées. Mais il doit être rendu coûteux par suite de refroidissement considérable que subit l'air neuf à son passage entre les deux châssis de fenêtre. Il serait probablement plus avantageux, et on arriverait également au but proposé en faisant circuler entre les doubles fenêtres l'air expulsé des pièces, en produisant cette circulation de bas en haut; le refroidissement que subirait l'air dans son parcours descendant aiderait au tirage de l'appel, et la perte de chaleur se trouverait ainsi utilisé

Observations générales sur le chauffage des grandes salles de réunion, des palais, des grands amphithéâtres, des théâtres, etc., etc.

2720. Les lieux de réunion ont des formes et des dispositions très-diverses, suivant leurs destinations. Mais ils peuvent, sous le rapport du chauffage et de la ventilation, se diviser ainsi :

1° Les grandes salles, comme les salles des séances des Chambres, les grands amphithéâtres; 2° les galeries, comme les salles des pas perdus, les bibliothèques; 3° les théâtres.

2721. *Amphithéâtres.* — Dans les grands amphithéâtres, nous avons vu que souvent le chauffage et la ventilation s'effectuent en faisant arriver de l'air chaud par des orifices situés dans la partie horizontale qui se trouve au bas des gradins, ou par des tuyaux qui débouchent dans cette partie de la salle à différentes hauteurs et dans différentes directions; l'air vicié descend au-dessous des gradins par un grand nombre d'orifices percés dans les contre-marches, et passe ensuite dans des tuyaux aboutissant à une cheminée d'appel. Cette disposition, employée au Conservatoire des Arts et métiers, a de graves inconvénients. Supposons la salle vide; l'air chaud, en arrivant, tend à s'élever d'abord au plafond où il s'étale et descend progressivement par couches horizontales sensiblement isothermes jusqu'aux orifices d'écoulement, mais en se refroidissant de plus en

plus, la chaleur qu'il abandonne étant absorbée par les surfaces de transmission. Il résulte de là que l'air se trouve à une température croissante de bas en haut, et que si l'amphithéâtre a une pente très-rapide, il pourra y avoir une différence notable de température sur les bancs les plus bas et les plus élevés, comme cela a été vérifié sans exception dans toutes les salles échauffées garnies de gradins. Supposons maintenant la salle occupée ; la chaleur produite par chaque individu et l'air vicié expiré, tendront évidemment à échauffer et à vicier les couches d'air supérieures, et, par conséquent, l'effet produit par les personnes occupant l'amphithéâtre consistera à augmenter la variation de température de haut en bas et à vicier les couches d'air, d'autant plus qu'elles seront plus élevées. Ainsi, ce mode de ventilation ne peut réellement être employé que quand l'amphithéâtre n'a qu'une légère inclinaison et qu'il ne renferme qu'un petit nombre de personnes.

2722. La meilleure disposition consiste à amener l'air au-dessous de l'amphithéâtre, à le distribuer uniformément par un très-grand nombre d'orifices, à le recueillir au sommet de la salle pour le conduire à une cheminée d'appel partant des combles, ou mieux pour le faire descendre au niveau du sol par un tuyau placé au dehors et qui le dirige dans une cheminée d'appel. Cette disposition, analogue à celle qui était employée dans l'ancienne Chambre des communes de Londres, et ensuite dans l'ancienne Chambre des Pairs, n'aurait aucun des inconvénients que nous venons de signaler pour l'autre système ; chaque personne respirerait de l'air pur et à la même température. J'examinerai successivement les différentes parties de ce système de chauffage et de ventilation.

2723. Le chauffage de l'air peut avoir lieu au moyen des calorifères dont j'ai parlé (1853 et suiv.). Chaque système a des avantages et des inconvénients qui lui sont propres, et, d'après ce que j'ai dit, il sera facile de reconnaître celui qui convient le mieux dans chaque circonstance. Si la salle ne devait être occupée qu'accidentellement, ou seulement un petit nombre d'heures chaque jour, les calorifères dans lesquels l'air est chauffé directement seraient les plus avantageux, d'autant plus qu'ils coûtent moins de frais d'établissement que les autres, dans lesquels il y a toujours deux systèmes de surfaces de chauffe. Mais comme l'air échauffé doit être porté au-dessous des gradins qui sont toujours en bois, il faudrait prendre les précautions nécessaires pour que la température de l'air ne pût jamais dépasser une certaine limite peu élevée ; pour cela, il serait

possible de disposer un registre qui ouvrirait l'accès de l'air extérieur dans le canal recevant l'air sortant du calorifère quand cet air dépasserait la limite assignée.

2724. L'uniformité de la distribution de l'air au-dessous des gradins présenterait quelques difficultés. Il faudrait d'abord renoncer complétement au mode de distribution qui avait été employé dans l'ancienne salle des Communes, et qui consistait à percer le sol d'un très-grand nombre de petits orifices. Le mélange des veines partielles sorties de ces orifices pourrait n'avoir lieu qu'à une trop grande hauteur; d'ailleurs, la boue et la poussière apportées par les pieds, pourraient obstruer les ouvertures, et l'air serait nécessairement chargé d'une poussière fine qui aurait de graves inconvénients sur la respiration; un tapis en crin épais, à larges mailles, aurait l'avantage de mieux disséminer les veines d'air, mais les inconvénients de la boue et de la poussière seraient beaucoup augmentés. Le meilleur mode de distribution de l'air dans la salle consiste à introduire par des ouvertures pratiquées à la partie supérieure des contre-marches, ou à une certaine hauteur dans les faces de devant ou de derrière des bancs; la somme des surfaces de ces orifices étant très-grande relativement à la section de la cheminée d'appel, la vitesse des veines serait très-petite, et comme elles sont dirigées horizontalement, elles changeraient de direction par la rencontre des surfaces qui se trouveraient sur leur passage, et leur mélange s'effectuerait facilement sans présenter les inconvénients que j'ai signalés; c'est ce que l'expérience a démontré dans l'ancienne Chambre des Pairs. Mais il faut, en outre, que l'air soit distribué à peu près uniformément au-dessous des gradins, et il suffira pour cela que l'air échauffé y arrive par un certain nombre de tuyaux recourbés verticalement, et terminés chacun par un chapeau qui dirige les veines d'air de haut en bas.

2725. Quant aux orifices de sortie de l'air, les dispositions seront différentes, suivant que le plafond sera cintré et garni d'une coupole vitrée, ou qu'il sera horizontal. Dans le premier cas, le cylindre sur lequel repose la coupole serait percé latéralement d'un large orifice communiquant avec un grand tuyau en tôle ou en zinc placé en dehors du bâtiment, autant que possible sur une face exposée au nord, et qui amènerait l'air au niveau du sol, dans un canal horizontal communiquant avec une cheminée d'appel. Si la surface supérieure de la pièce était horizontale, il faudrait construire un faux plafond percé d'un grand nombre d'orifices qui communiqueraient

par des conduits horizontaux placés entre les deux plafonds avec le grand tuyau dont nous venons de parler. Ce tuyau de descente doit être en métal, afin que l'air se refroidisse le plus possible, car si on parvenait à lui donner la température extérieure, la descente de l'air ne produirait d'autre perte que celle qui résulte du frottement et des changements de direction.

2726. La cheminée d'appel devrait être en briques; le foyer serait placé latéralement ou formé d'une grille mobile, en forme de panier, qu'on pousserait au milieu de la section de la cheminée et qu'on retirerait en avant pour la charger. Le tuyau d'accès de l'air dans la cheminée devrait être garni d'un registre tournant, destiné à régler la ventilation, et à la supprimer complétement, pour commencer le chauffage, en faisant retourner au calorifère l'air de la pièce par un orifice pratiqué près du sol.

2727. Il sera nécessaire de n'introduire l'air dans l'amphithéâtre qu'à une température très-peu différente de celle qui y règne, au moins au voisinage des auditeurs ; cette condition est indispensable toutes les fois que l'air est introduit par des orifices placés près des personnes qui se trouvent dans la salle ventilée, quelle qu'en soit la nature ; aussi l'air chaud doit-il arriver précédemment dans une chambre de mélange où il rencontre de l'air froid en quantité convenable pour arriver à la température voulue ; dans le cas des amphithéâtres l'espace qui se trouve au-dessous des gradins peut avantageusement être employé comme chambre de mélange. En général pour obtenir le mélange de l'air chaud et de l'air froid il suffira de faire arriver le premier par des tubes verticaux recouverts de chapeaux destinés à diriger les mêmes verticalement ou obliquement, mais toujours de haut en bas.

2728. Le canal horizontal qui conduit l'air dans le tuyau de descente pour l'amener au bas de la cheminée d'appel doit être garni à sa partie supérieure d'un large orifice, ayant la section du tuyau, et fermé par un couvercle à joint hydraulique ou de sable, afin de pouvoir faire écouler directement l'air qui a traversé la salle, quand la force ascensionnelle est suffisante, ce qui arrive quand l'air extérieur est à une température assez basse relativement à la température intérieure.

2729. On pourrait aussi placer une cheminée avec foyer d'appel dans les combles du bâtiment, mais c'est une disposition trop dangereuse ; d'ailleurs, la direction du foyer exigerait un chauffeur spécial, tandis que, par la disposition indiquée, le chauffeur qui

surveille le calorifère, peut diriger le foyer de la cheminée. Cet inconvénient n'existerait pas si le calorifère était à vapeur ou à eau chaude, parce qu'on pourrait établir dans la cheminée des combles des vases alimentés à volonté de vapeur ou d'eau chaude, qui échaufferaient l'air avant sa sortie ; mais la dépense de combustible se trouverait dans la plupart des cas notablement plus grande que quand l'air descend au niveau du sol pour s'élever dans une cheminée, parce que les cheminées qui partent des combles ont nécessairement une petite hauteur, et que, dans la disposition indiquée, l'air prenant sensiblement la température extérieure, le tirage qui se produit dans la salle s'ajoute au tirage d'une grande cheminée, comme dans le cas où la cheminée part des combles ; à la vérité, il y a une certaine perte de charge résultant du frottement dans le canal de descente et dans la cheminée, mais cette perte de charge est plus que compensée par l'accroissement de hauteur de la cheminée. En comparant une cheminée de 5 mètres partant des combles, d'un diamètre de $1^m,60$, avec une cheminée partant du sol, de même section et de 15 mètres de hauteur, si nous supposons de plus que les résistances antérieures soient les mêmes dans les deux cas, en appliquant à chacun d'eux la formule du n° 582

$$v = \frac{0,268}{1 + at}\sqrt{\frac{H(t - \theta)(1 + a\theta)}{1 + R}},$$

et prenant le rapport on aura :

$$\frac{v}{v'} = \frac{1 + at'}{1 + at}\sqrt{\frac{H}{H'} \cdot \frac{t - \theta}{t' - \theta}},$$

et comme $1 + at$ est sensiblement égal à $1 + at'$, on voit que pour que les vitesses soient les mêmes on devra avoir sensiblement

$$\frac{H}{H'} = \frac{t' - \theta}{t - \theta}.$$

Si donc la hauteur de la cheminée des combles est le 1/3 de celle de la grande cheminée, il faudra que l'excès de température dans la première soit le triple de celui de la dernière ; si de plus l'excès nécessaire à produire le tirage dans la grande cheminée était de 20° et que celui de l'air de l'amphithéâtre sur l'air extérieur fût aussi de 20°, on voit qu'il faudra suréchauffer l'air dans la cheminée des combles d'une quantité double de celle qui sera nécessaire dans la grande cheminée et par suite dépenser une quantité double de

chaleur. Mais ce rapport se trouverait diminué si on augmentait la hauteur de la cheminée des combles, si l'excès de la température de l'air de l'amphithéâtre sur celle de l'air extérieur augmentait et si l'excès de température nécessaire à produire le tirage diminuait.

2730. On pourrait aussi produire le mouvement de l'air à travers l'amphithéâtre au moyen d'un ventilateur placé, soit en avant des calorifères, soit dans les combles, soit au niveau du sol au bas du tuyau de descente. Le mieux serait de le disposer en avant des calorifères et de le faire agir par insufflation.

2731. Je prendrai pour exemple particulier un amphithéâtre pouvant contenir 1000 personnes ; si la ventilation doit être de 15 mètres cubes par personne et par heure, le volume d'air total qu'il faudra faire passer à travers la salle sera de 15000 mètres cubes par heure, et de $4^{mc},16$ par seconde ; en supposant une cheminée de 15 mètres de hauteur, un refroidissement complet dans le tuyau de descente, et un accroissement de température de l'air dans la cheminée de 30°, la vitesse d'écoulement de l'air, abstraction faite de toutes les résistances, serait égale à $5^{m},67$, et en admettant que les résistances réduisent cette vitesse à un tiers, elle serait encore de 1,88 ; mais la force ascensionnelle de l'air dans l'amphithéâtre l'augmentera notablement, et on peut sans crainte de se tromper notablement l'estimer à 2 mètres ; alors la section minimum de la cheminée serait égale à $2^{mq},08$ et son diamètre à $1^{m},60$. La même section devrait être donnée, au minimum, au courant qui passe dans les calorifères et au canal qui conduit l'air vicié dans la cheminée ; mais, dans tout le circuit externe, il serait convenable de ne donner à l'air qu'une vitesse inférieure à 1 mètre. En supposant que l'air soit échauffé de 30°, la dépense par heure pour la ventilation serait de $15000.\ 1^{k}3.\ 30.\ 0,24 = 140400^{c}$, qui correspondent à $17^{k},55$ de houille. Quant à la dépense de chauffage de l'air à son entrée dans la salle, elle variera avec la température extérieure ; en admettant 6° pour la température moyenne des mois de chauffage, 15° pour la température de la salle, l'excès moyen serait de 9° et la dépense moyenne de combustible serait égale à $17,55.\ 9 : 15 = 10^{k},53$; dans les plus grands froids, elle pourrait être plus que doublée, mais alors la ventilation pourrait s'effectuer directement par l'orifice ménagé au sommet du tuyau de descente.

2732. En connaissant les dimensions des différentes parties de l'appareil, on pourrait facilement calculer, avec une approximation suffisante, la somme des résistances que l'air éprouverait dans son

circuit, et, par suite, l'excès de température que l'air devrait recevoir dans la cheminée. Les plus grandes résistances proviennent des changements brusques de direction et des accroissements de section ; les frottements sont presque négligeables ; l'incertitude ne porterait que sur la température de l'air en arrivant dans la cheminée d'appel, mais elle devrait peu différer de la température extérieure, quand la cheminée d'appel part du sol et que le tuyau de descente est métallique.

2733. Occupons-nous maintenant de la manière de régler la ventilation. Pendant l'été, il faut remarquer que, avec une ventilation de 15 mètres cubes d'air, les 42 unités de chaleur produites moyennement par personne et par heure (2365) élèveront la température des 15 mètres cubes d'air, de 9°,18 ; ainsi, en supposant que l'amphithéâtre soit toujours occupé par le même nombre de personnes, pour obtenir une ventilation constante, il suffirait que l'on brûlât toujours dans le foyer la même quantité de combustible, ce qu'on pourrait obtenir en réglant convenablement l'orifice d'accès de l'air dans le foyer, d'après les indications d'un thermomètre différentiel qui se trouverait dans la cheminée ou au moyen d'un manomètre qui indiquerait la pression latérale au bas de la cheminée. Pendant l'hiver, l'appel provenant de l'air chaud qui remplit la salle étant variable, il faut nécessairement se servir d'un appareil qui indique directement la vitesse d'écoulement, de l'appareil décrit (520), ou de l'anémomètre disposé comme je l'ai indiqué (516) ; ces instruments auraient l'avantage de servir pour toutes les saisons, et on reconnaîtrait facilement à leurs indications quand il suffit d'ouvrir le registre de la partie supérieure du tuyau de descente, et quand il faut allumer le foyer de la cheminée d'appel.

2734. Il est important de remarquer qu'en été, en supposant seulement une ventilation de 10 mètres cubes par personne et par heure, la chaleur dégagée par la respiration élèverait l'air d'appel, dans la pièce, de 9°,18. 3 : 2 = 13°,77, à peu près de 14°, et qu'en supposant la hauteur de la salle de 10 mètres, la vitesse d'appel, par cet accroissement de température, abstraction faite des frottements, serait à peu près de 1 mètre, et la section des orifices d'accès et de sortie devrait être environ de $0^{mq},0027$ par personne ; alors, dans l'hypothèse de 1000 personnes, ces sections seraient de $2^{m},7$; et en supposant que la vitesse soit réduite à 0,5, par les résistances de toute espèce, la ventilation naturelle serait peu diminuée, à cause de l'accroissement de température de l'air par la

respiration. En effet, en désignant par v la vitesse dans le cas que nous avons considéré d'abord, et par v' la nouvelle vitesse, on aurait évidemment

$$\frac{v'}{v} = 0{,}5 \cdot \sqrt{\frac{t'}{t}};$$

ou en remarquant que $\frac{t'}{t}$ est sensiblement égal à 2, si 15° est la température moyenne de l'été, on aura :

$$\frac{v'}{v} = 0{,}5\sqrt{2}; \quad \text{ou} \quad v' = 0{,}7v.$$

En hiver, en supposant que l'air d'accès soit à 15°, et en négligeant la chaleur transmise par les vitres et les murailles, qui est toujours très-petite relativement à la chaleur émise par la respiration, quand la salle est remplie, la température de l'air au-dessus de l'espace occupé dépasserait certainement 35°, et par conséquent la ventilation naturelle dépasserait celle de l'été.

2735. Mais tout cela suppose que la salle est remplie. Si elle ne l'était pas, les orifices d'accès et de sortie par la partie supérieure étant ouverts, la vitesse d'ascension de l'air serait diminuée en été, mais la ventilation pourrait encore être suffisante par les remous qui se produiraient autour des personnes présentes, et d'autant plus facilement qu'elles seraient plus espacées ; en hiver, les phénomènes seraient encore beaucoup plus compliqués, parce que la température de l'air chaud, en sortant du calorifère, dépendrait à la fois de la consommation de combustible et de la ventilation, que la température de la pièce varierait avec la température et le volume de l'air chaud qui y pénétrerait, et avec le nombre des personnes qui l'occuperaient.

J'ajouterai que la ventilation naturelle exigerait nécessairement que les orifices d'accès de l'air, dans l'amphithéâtre, allassent en décroissant de surface de bas en haut ; cela tient à ce que l'appel provenant de l'accroissement de température causé par la respiration augmente de bas en haut, par suite de la diminution de hauteur de la colonne d'air surchauffée. Ces variations de sections ne seraient pas absolument nécessaires si l'appel avait lieu par une grande cheminée partant du sol, parce qu'alors les inégalités de ventilation, dans les différentes parties du sol, deviennent très-faibles avec des orifices d'accès égaux.

2736. Ainsi, il est très-avantageux, sous le rapport de la ventila-

tion totale, et sous le rapport de l'uniformité de la ventilation générale et de sa répartition, de la produire par la cheminée d'appel, même quand la ventilation naturelle pourrait être momentanément suffisante, et de la diriger toujours comme si la salle était constamment remplie. Le chauffeur devrait consulter constamment l'anémomètre et un thermomètre placé dans la salle, et s'arranger de manière que les indications restent constantes, au moyen du registre du tuyau d'accès de l'air dans le foyer de la cheminée d'appel, et du registre du tuyau à air brûlé du calorifère.

2737. Dans les salles occupées par un grand nombre de personnes qui se tiennent debout, comme les salles d'audience des tribunaux, le mode de ventilation devrait être le même ; l'air devrait parcourir les salles de bas en haut ; mais ici, excepté dans la partie de la salle qui n'est pas occupée par le public, on ne peut plus éviter l'inconvénient qui résulte de l'accès de l'air par des calorifères placés au-dessous du sol ; heureusement, cet inconvénient est moins grave que dans les amphithéâtres. L'air pourrait arriver par un grand nombre d'orifices fermés par des grilles en fonte à jour, et dans la partie réservée de la salle, par des ouvertures pratiquées dans le plancher et sur le devant des bancs. L'air vicié passerait par le plafond pour gagner la cheminée d'appel, comme pour la ventilation des amphithéâtres.

2738. Quand la température extérieure est basse, on peut, en plaçant le calorifère à air chaud à une hauteur convenable au-dessous de la salle, obtenir un excès de pression de l'air qui arrive et par suite maintenir la pression intérieure égale et même supérieure à la pression extérieure, mais il n'en est plus de même quand l'air ne doit pas être chauffé, ou quand il ne doit être chauffé que d'une quantité insuffisante, et alors il faut une action mécanique pour donner à l'air neuf l'excès de pression qui doit neutraliser la raréfaction produite par l'appel.

2739. *Grandes galeries.* — Le cas que nous considérons maintenant est celui de la Bourse et des grandes gares de chemin de fer, salles de pas-perdus, etc. Dans ces salles, la ventilation s'effectue par les portes qui s'ouvrent fréquemment, et on n'a à s'occuper que du chauffage. La meilleure disposition de chauffage qu'on puisse employer, consiste dans un chauffage par des plaques de fonte pleines, au niveau du sol, et des courants d'air chaud, sortant de quelques plaques à jour fixées dans le plancher, et d'orifices percés dans les faces de différents socles convenablement placés comme à la Bourse

de Paris. Lorsque les pièces ont une grande étendue, le chauffage à vapeur est plus avantageux que les autres; quand les pièces n'ont qu'une petite étendue, c'est le chauffage par des calorifères à air chaud qui doit être préféré. Quand les pièces sont petites, on pourrait placer le calorifère dans la salle même en le disposant comme cela a été dit. Lorsque le chauffage doit être continu, les calorifères à eau chaude pourraient mieux convenir que dans les autres cas, mais à la condition de réduire autant que possible le volume d'eau en circulation, afin que le chauffage puisse varier rapidement avec la température extérieure.

2740. On a construit dans plusieurs gares de Paris des appareils de chauffage à eau chaude qui se composent de deux tuyaux de grand diamètre placés dans un caniveau creusé dans le sol et recouvert d'une plaque de fonte pleine ou à jour ; l'un des tuyaux communique avec la partie supérieure de la chaudière, l'autre avec la partie inférieure, et les autres extrémités communiquent entre elles de distance en distance ; les deux tuyaux se relèvent verticalement jusqu'à une certaine hauteur, et ces appendices sont environnés d'une caisse en fonte à jour, qui laisse dégager de l'air chaud. Quelquefois, ces appendices sont remplacés par des poêles en fonte dans lesquels l'eau circule. Ces différentes dispositions exigent que les tuyaux soient portés sur des roulettes en fonte afin que la dilatation puisse s'opérer.

Il serait certainement plus avantageux sous tous les rapports de faire le chauffage par la vapeur, au moyen d'un seul tuyau placé dans les caniveaux, et sur lequel seraient branchés des tubes verticaux, du sommet desquels la vapeur descendrait par des serpentins présentant une grande surface de chauffe.

2741. *Théâtres.* — Le chauffage à la vapeur me semble à beaucoup près le meilleur pour les théâtres, à tous les points de vue. Quant à la ventilation, après ce que j'ai dit sur les inconvénients de l'appel qui produit des courants d'air si désagréables, je pense qu'il conviendrait d'examiner, par une étude spéciale, s'il ne serait pas préférable d'abandonner complétement le système de l'appel et de le remplacer par celui de l'insufflation, dont nous parlerons avec détails, en nous occupant de la ventilation des hôpitaux.

Nous avons vu que cette prévision de Péclet s'est réalisée et que dans le théâtre de la Monnaie à Bruxelles et à l'Opéra de Vienne, on a employé le système de l'insufflation ; il est bon d'ajouter qu'on l'a combiné avec l'appel de l'air vicié et que ce double mode d'action

les 100 kilogrammes font 14 francs. Il ne resterait que 1 franc pour le chauffage de l'eau et le salaire du chauffeur. Il est probable que le chauffage a lieu par la circulation du même air autour des poêles à eau chaude, et que la ventilation est celle qui se fait naturellement par les portes et les fissures des fenêtres, excepté à peu près 3 à 4000 mètres cubes par jour qui sont appelés par le foyer.

Église Saint-Roch.

2745. Les appareils de chauffage de l'église Saint-Roch ont été construits par M. Grouvelle pendant l'hiver de 1845 à 1846. Par suite de causes que nous verrons plus loin, l'appareil ne produisit qu'un effet insuffisant pendant les deux hivers suivants. En 1848, MM. Léonce Thomas et Gentilhomme, ingénieurs, furent nommés experts avec M. Gaulthier de Claubry pour examiner l'état des choses, et M. Pottier, ingénieur, fut chargé de suivre les expériences qui ont duré soixante-quatre jours consécutifs.

Les détails que je vais donner ont été extraits d'un mémoire publié par M. Pottier dans les *Comptes rendus des travaux de la Société des ingénieurs civils*. J'y ajouterai quelques calculs.

2746. *Disposition et dimensions du bâtiment.* — L'église Saint-Roch est un bâtiment de 110 à 115 mètres de longueur sur 28 mètres de largeur, et de 15 à 18 mètres de hauteur moyenne ; sa superficie est d'environ 3100 à 3200 mètres carrés. Les murailles exposées au refroidissement extérieur ont une surface de 3500 mètres et une épaisseur moyenne de $0^m,50$. La surface des vitraux est de 860 mètres carrés. Les murs et piliers intérieurs présentent un volume de 1800 mètres cubes. L'église contient environ 3500 places assises, et réunit, les dimanches ordinaires, de 2000 à 4000 personnes, les fêtes ordinaires, de 4000 à 6000, et les grandes fêtes, de 6000 à 8000.

L'ensemble du vaisseau se divise en trois parties distinctes. La première et la plus grande a 28 mètres de largeur et 68 mètres de longueur; elle comprend la nef principale, les bas côtés, le chœur et les chapelles latérales ; la hauteur de la voûte est de 17 à 18 mètres. La seconde partie est formée de la chapelle de la Vierge, chapelle circulaire d'environ 30 mètres de diamètre, y compris les bas côtés, et surmontée d'un dôme d'environ 25 mètres d'élévation. Enfin, dans la partie la plus reculée de l'église, se trouve le calvaire, partie basse, froide, humide, dont les voûtes principales n'ont que

5 mètres d'élévation, et dont les vitraux étaient, à cette époque, dans le plus déplorable état. Cette partie de l'édifice a depuis été l'objet d'une réparation considérable.

2747. *Causes de refroidissement.* — Indépendamment des causes ordinaires de refroidissement par les murailles et les vitres, il y en a une anormale provenant de la fermeture incomplète ou nulle d'un très-grand nombre d'orifices. L'église renferme soixante-quatre fenêtres présentant une surface totale de 860 mètres carrés ; toutes ces fenêtres sont en mauvais état, et les plaques de verre, réunies par des lamelles de plomb, laissent à chaque joint un intervalle dont la largeur varie de 1 à 4 millimètres ; en outre, chaque fenêtre porte deux panneaux mobiles à charnières, qui offrent par fenêtre un périmètre de 5 à 6 mètres, présentant une ouverture permanente qui, en certains points, a 5 à 6 centimètres de largeur. Enfin, la voûte est percée de quatre-vingt-sept trous destinés à livrer passage aux cordes qui supportent les lustres, ayant en moyenne $0^m,07$ de diamètre, et placés à la hauteur de 18 mètres ; l'air qui s'en échappe a une vitesse suffisante pour éteindre une bougie. Le relevé minutieux de toutes ces ouvertures a donné pour résultat total une surface de $14^{mq},15$ à une hauteur moyenne de $11^m,20$.

Il y a, en outre, six portes donnant à l'extérieur, et un certain nombre de petites portes s'ouvrant sur la sacristie, sur les tribunes, etc.

2748. *Système de chauffage.* — Le système employé par M. Grouvelle consiste en une circulation d'eau chaude à basse pression, dans des caniveaux placés au-dessous du sol, dans lesquels l'air extérieur est appelé, et d'où il sort, après s'être chauffé, par un certain nombre d'orifices placés à la surface du sol.

Dans un caveau circulaire, qui règne sous le pourtour de la chapelle de la Vierge, est placée une chaudière ayant la forme des générateurs à vapeur à deux bouilleurs, d'une puissance de 12 chevaux environ. Un tuyau de fonte, de $0^m,14$ de diamètre, dont les différentes parties sont réunies par des joints à boulon, et d'un développement de 168 mètres, part du sommet de la chaudière et passe sous le bas côté droit de l'église, en s'élevant par une pente d'environ $0^m,03$ par mètre ; son point culminant est sous l'orgue ; il revient par le côté gauche de l'église en suivant la même pente, et finit par aboutir à l'un des bouilleurs de la chaudière. Un petit tuyau additionnel, placé après coup, circule en sens contraire du tuyau principal, parallèlement au tuyau de retour, et finit par déboucher dans ce tuyau à son point culminant, c'est-à-dire sous l'orgue. Une

circonstance imprévue a nécessité l'addition de ce tuyau; les plans fournis par la ville indiquaient, sous les bas côtés de l'église, une série de caveaux qui n'existent pas, et le refroidissement subi par l'appareil circulant dans la terre, au lieu d'être isolé dans des carneaux, a forcé d'augmenter la surface de chauffe.

Tous ces tuyaux sont placés dans un canal dont les parties verticales sont formées de deux murailles en briques, laissant entre elles un certain espace libre, afin de diminuer la perte de chaleur; il est fermé inférieurement par des planches et communique avec les ouvertures pratiquées dans le sol de l'église, par lesquelles l'air chaud doit s'écouler ; après chacune de ces ouvertures il est fermé par une cloison en bois transversale, et immédiatement après se trouve une ouverture, dans la surface inférieure, pour admettre l'air extérieur qui, par cette disposition, est chauffé par toute la longueur du tuyau comprise entre deux orifices voisins de dégagement d'air chaud.

Un système analogue, mais de plus petite dimension, part de l'autre extrémité de la chaudière et circule au-dessous de la chapelle de la Vierge et du calvaire; le tuyau n'a que $0^{m},12$ de diamètre et 86 mètres de longueur.

Des valves, placées sur les tuyaux de départ et d'arrivée, permettent de modifier ou même de supprimer complétement la circulation dans chacune des grandes artères. Sous le pourtour de l'artère principale, quatre renflements de 3 mètres de longueur et de $0^{m},35$ de diamètre augmentent encore la surface de chauffe. Quatre autres renflements, en forme de poêles de différents diamètres, sont placés à l'orifice des bouches principales, et de petits embranchements sans retour favorisent le tirage des bouches qui ne sont pas placées directement sur le parcours.

Pour augmenter l'effet utile du combustible, le tuyau à fumée en tôle, de $0^{m},35$ de diamètre, sert à chauffer l'air sur un parcours de 7 mètres. Cet air alimente une bouche isolée de la chapelle de la Vierge.

Voici maintenant les principales dimensions de l'appareil. Surface de chauffe de la chaudière, y compris les bouilleurs, $15^{mq},40$; surface de la grille, $0^{mq},80$; surface de refroidissement de la circulation, $164^{mq},85$; volume de l'eau qui s'échauffe, $3^{mc},008$; volume d'eau qui se refroidit, $4^{mc},218$; volume total de l'eau de l'appareil, $7^{mc},226$; température de l'eau dans la chaudière, 120 degrés; à l'extrémité du tuyau de retour, 102 degrés; température moyenne de l'eau en

circulation, 111 degrés; différence maximum du niveau, 3 à 4 mètres. L'air chaud est versé dans l'église par vingt-deux bouches fermées par des grilles; vingt et une ont une surface libre de $0^{mq},135$, et la dernière, celle qui est placée au-dessous de l'orgue, $0^{mq},400$: la somme de ces surfaces est de $3^{mq},235$.

2749. *Méthode d'expérimentation suivie par MM. les experts.* — Chaque matin la houille destinée à la consommation du jour était pesée et mise par tas de 200 kilogrammes. Le chauffeur marquait l'heure de la mise en feu, l'heure de l'extinction et l'heure où il entamait chaque nouveau tas; le reste du dernier tas était pesé avec soin.

Cinq fois par jour on observait la température de l'intérieur et de l'extérieur. Dans ce but, dix thermomètres préalablement comparés étaient suspendus sous les lustres à 2 mètres au-dessus du sol, la moyenne de ces dix thermomètres donnait la température intérieure. Deux thermomètres placés, l'un dans une petite cour attenante au fourneau, l'autre sous le portail, indiquaient la température extérieure. Deux autres thermomètres étaient suspendus à 2 mètres au-dessus des bouches de chaleur. Six thermomètres appliqués contre la paroi intérieure des murs latéraux et la face tournée contre ces murs, indiquaient la température de ces parois. Enfin deux thermomètres suspendus sous l'orgue à 8 ou 9 mètres d'élévation, et un troisième suspendu à la naissance de la coupole de la chapelle de la Vierge à 18 ou 20 mètres, servaient à étudier la répartition de la chaleur à différentes hauteurs.

Les résultats de même nature ont été représentés graphiquement par des courbes.

2750. *Résultat des expériences.* — Par suite d'une économie mal entendue, ou plutôt des conditions du service et de la nature des engagements du constructeur, l'église n'avait été chauffée jusqu'alors que par intervalles irréguliers, et jamais d'une manière continue. La température intérieure n'avait pu dépasser 9 à 10 degrés et descendait notablement pendant les gelées.

Le 16 novembre, jour où commença l'expertise, la température extérieure était de 3 à 4 degrés, et la température intérieure de 9 degrés.

Du 17 au 27 novembre, par un chauffage non interrompu de jour et de nuit, la température intérieure fut amenée successivement à 18 degrés.

Du 27 novembre au 6 décembre, la température de l'église a été

maintenue entre 15 et 16 degrés par un chauffage intermittent ; et du 6 décembre au 20 janvier à une température de 12 à 13 degrés en faisant varier la durée des chauffages et des intervalles qui les séparaient. Dans ce dernier laps de temps, la température extérieure est restée comprise entre + 5 et + 6 degrés.

2751. *Effet produit par la continuité du chauffage.* — M. Léonce Thomas, en examinant la puissance et la disposition de l'appareil, avait pensé dès l'abord que les faibles résultats obtenus les années précédentes provenaient uniquement de ce que les murailles n'avaient point été amenées au régime, qu'on parviendrait à les y amener par un chauffage continu jour et nuit pendant un certain temps, et qu'alors une plus haute température serait obtenue d'une manière permanente avec une moindre dépense de combustible. Ces prévisions ont été parfaitement confirmées par l'expérience. Par un chauffage continu de huit jours la température intérieure, comme nous l'avons dit, s'est élevée progressivement jusqu'à 16 degrés ; elle dépassa même 18° pendant les offices les plus suivis du dimanche ; cette température est insupportable dans un lieu où l'on arrive bien vêtu ; aussi beaucoup de personnes furent obligées de sortir. En outre, comme nous le verrons plus loin, ces résultats ont été obtenus avec une notable économie de combustible ; on en conçoit facilement la raison : quand la grande masse de l'air, les murailles intérieures et extérieures, possèdent la température qui correspond à celle qui doit être maintenue dans l'édifice, il n'y a de pertes de chaleur que par les transmissions régulières, tandis que quand cette condition n'est pas remplie, il y a beaucoup de chaleur absorbée par les murailles et qui se disperse sans utilité.

2752. *Chauffage intermittent.* — Aussitôt que le régime est établi, il n'est plus utile de chauffer d'une manière continue, il suffit de faire fonctionner le foyer quelques heures tous les jours, ou d'attendre que la température intérieure se soit abaissée de 2 ou 3 degrés, et de chauffer le temps suffisant pour remonter la température au point de départ. Or, il résulte des expériences faites dans les mêmes circonstances de température extérieure, que cette dernière méthode est plus économique, car dans le premier cas, la consommation moyenne par heure de trois expériences a été $41^k,02$, et dans le second cas seulement de $38^k,35$. Cette différence provient de ce qu'il y a toujours une grande perte de chaleur au commencement de chaque chauffage pour amener le fourneau, les canaux, etc., à leur température maximum. La courbe des températures des bouches de

chaleur le démontre avec la dernière évidence ; dans les chauffages continus, l'air chaud n'atteint son maximum qu'après trois jours. Ainsi le mode de chauffage le plus économique, indépendamment de quelques difficultés de service, consisterait à laisser le vaisseau se refroidir de 1 ou 2 degrés, au-dessous de la moyenne qu'il convient alors de prendre au-dessous de 15° et à le chauffer d'une manière continue de quelques degrés au-dessus, une variation de quelques degrés dans une église n'offrant pas d'inconvénient.

2753. *Maximum de puissance de l'appareil.* — Lorsque la température intérieure restant constante, la température extérieure s'abaisse, la vitesse du refroidissement augmente ; il faut alors un chauffage plus vif et plus soutenu pour maintenir la température intérieure, et on conçoit facilement que quand l'appareil par un chauffage continu sera amené à produire son maximum d'effet, la température intérieure s'abaissera de manière que sa différence avec la température extérieure reste constante.

On a eu deux fois l'occasion de constater ainsi le maximum de puissance de l'appareil, le 21 décembre et le 2 janvier, jours où la température a baissé subitement en une nuit de 8 à 10 degrés pour tomber à — 3 ou à — 6 degrés. Il fut observé alors que bien que le chauffage fût permanent, la température intérieure s'abaissa brusquement de manière que son excès sur celle de l'air extérieur se maintint à 16 degrés. Ainsi c'est cet effet qui mesure le maximum de puissance de l'appareil.

Pour une température extérieure de — 6 degrés, la température intérieure atteindrait donc seulement 10 degrés. Ainsi l'appareil serait juste suffisant pour maintenir dans l'église une température de 12 à 13 degrés, quand l'air extérieur est à — 2° ou — 3°. Mais il est important de remarquer que la température que nous recherchons et qui nous plaît l'hiver, n'est que relative, et elle est d'autant moins élevée que l'air est plus froid. Aussi il a été constaté que la température de l'église n'avait jamais paru si élevée que dans les deux circonstances que nous venons de citer, quoiqu'en réalité elle n'eût jamais été aussi faible, parce qu'en y entrant on éprouvait une variation de température de 16 degrés, tandis que la moyenne des différences, pendant l'hiver, est moitié moindre.

2754. *Réchauffement spontané de l'église.* — A partir du 14 janvier, jour où l'on a cessé définitivement le feu, la température de l'église a baissé lentement jusqu'à se trouver seulement supérieure à celle de l'extérieure de 4 à 5 degrés. La température extérieure

s'étant élevée lentement, celle intérieure a suivi le même mouvement; il était faible, mais bien caractérisé et soutenu depuis trois jours, au bout desquels, le temps venant à se refroidir, la température intérieure s'est abaissée de nouveau. On peut se rendre compte de ce phénomène en considérant que la différence des températures des surfaces des murailles est toujours plus petite que celle de l'air intérieur et de l'air extérieur, à cause de la chaleur produite à l'intérieur par les personnes qui s'y trouvent, que quand cette dernière différence n'est que de 5 degrés, la première est très-petite et qu'un faible réchauffement de l'air extérieur peut changer le sens de la variation de température dans les murailles.

2755. *Extrême lenteur du refroidissement.* — En admettant que la température moyenne de l'hiver soit à Paris de 5 degrés, et que le vaisseau soit maintenu à une température de 12 degrés, la différence est de 7 degrés; il résulte des expériences que pour cette différence de température la vitesse du refroidissement est si lente qu'il faut interrompre le chauffage pendant cinq à six jours pour obtenir un abaissement de 1 degré.

2756. *Influence de la foule et de l'ouverture des portes.* — Pendant les cérémonies qui appellent un grand nombre de fidèles, la température monte de 2° à 3°; mais une demi-heure après l'écoulement de la foule, il ne reste plus de trace de cet échauffement. Cet effet, qui paraît singulier au premier abord, résulte de la quantité très-considérable de chaleur que peuvent absorber les murailles.

On n'a observé aucune influence résultant de l'ouverture des portes, quoique à plusieurs reprises cette ouverture ait été maintenue pendant trois à quatre heures.

2757. *Répartition de la chaleur à différentes hauteurs.* — Deux thermomètres étaient suspendus sous l'orgue à 8 ou 9 mètres du sol; un troisième était suspendu à la corniche du dôme de la chapelle de la Vierge à 18 ou 20 mètres, comme il a été déjà dit. Ces trois thermomètres consultés de trois à cinq fois par jour, pendant vingt jours, ont indiqué une température supérieure à la moyenne des dix thermomètres placés à 2 mètres du sol de 0°,25 à 0°,75 seulement et jamais plus.

Le fait dont il est question, et que j'avais déjà remarqué dans des circonstances analogues, provient de ce que les courants d'air chaud sortant des bouches de chaleur sont à une température peu élevée, d'une petite section, d'une petite vitesse, et qu'alors leur

chaleur se trouve promptement disséminée par la masse, à cause de la grande faculté dispersive de l'air, d'autant plus que les mouvements produits dans cette masse, par différentes causes dont nous allons parler, tendent encore à en mêler les différentes parties.

2758. *Mouvements de l'air dans l'édifice.* — Contre toutes les surfaces intérieures des murailles, et à une assez grande distance, la température de l'air est constamment inférieure de 0°,75 à 1°,50 à celle de l'air dans la partie centrale ; par conséquent il existe un courant d'air froid qui descend le long des murailles : c'est une conséquence nécessaire de leur mode d'échauffement. Une autre circonstance, certainement très-influente, produit encore des mouvements très-variés dans la masse d'air : ce sont les courants par les fissures des fenêtres. La somme totale de ces fissures disséminées sur une très-grande étendue présente, comme nous l'avons dit, l'énorme surface de 14 mètres carrés ; mais comme les orifices sont très-petits, ils produisent incomparablement moins de ventilation qu'un orifice unique de même section ; en outre, comme ces orifices sont à des hauteurs très-inégales et distribués à droite et à gauche, non-seulement ils servent à l'écoulement de l'air introduit, mais un certain nombre doivent donner accès à l'air extérieur, même quand celui-ci est calme ; il est évident que sous l'influence d'un vent qui serait perpendiculaire à une des faces, l'air extérieur entrera par les orifices de cette face et l'air intérieur sortira par la face opposée, parce que derrière cette face la pression atmosphérique sera diminuée.

2759. *Prises d'air intérieures.* — M. Grouvelle n'a disposé qu'un petit nombre de prises d'air intérieures, et elles ne produisent que peu d'effet. C'est une circonstance fâcheuse, car, au point de vue hygiénique, il n'y aurait eu aucun inconvénient à reprendre de l'air dans le vaisseau pour l'échauffer de nouveau, et il en serait résulté une notable économie.

2760. *Facile propension de l'eau à circuler.* — La moindre différence de niveau et de température suffit pour établir un mouvement prononcé même dans les tuyaux étroits. Sous la circulation principale du calvaire, qui a 0m,12 de diamètre, est embranché à angle droit un tuyau de 0m,08 de diamètre et de 23 mètres de longueur, replié sur lui-même et qui revient sur la conduite principale à 0m,30 du point de départ ; l'inclinaison de ce tuyau est très-faible, et pourtant la circulation s'y effectue très-bien.

2761. Pour mettre en évidence les variations de température qui

ont eu lieu à l'intérieur et à l'extérieur de l'église pendant la durée de ces expériences, qui offrent un véritable intérêt pour l'étude des grands chauffages, M. Pottier, d'après l'indication de M. Thomas, a représenté ces températures par des courbes.

Dans les figures 679, 680 et 681, les temps sont comptés sur la ligne AB. Les intervalles *ab* représentent une durée de vingt-quatre heures. Les températures correspondantes sont indiquées pardes lignes perpendiculaires; la ligne horizontale ponctuée CD correspond à 15 degrés. La courbe supérieure représente les températures moyennes intérieures, dans lesquelles les temperatures de l'air chaud à 2 mètres au-dessus des bouches entrent pour 1 : 11. La courbe immédiatement au-dessous représente les températures moyennes indiquées par des thermomètres placés non loin des bouches de chaleur. La troisième courbe indique la température des faces intérieures des murailles. Enfin la quatrième courbe, celle qui offre le plus de sinuosités, représente les températures extérieures. La teinte qui s'étend jusqu'à la courbe la plus élevée indique la durée du chauffage. La teinte noire foncée placée au-dessous du rectangle indiquant les jours représente la consommation de combustible; elle est proportionnelle chaque jour à la surface du rectangle teinté; lorsqu'il n'y a pas eu continuité dans la consommation, elle a été réduite à ce qu'elle aurait été si la consommation eût été uniforme pendant vingt-quatre heures. Les nombres placés dans les rectangles teintés représentent les consommations moyennes de combustible par heure.

Dans la 1re	semaine,	du 17 au 24 nov., la consommation a été de	5560	kil.
— 2e	—	du 24 novembre au 1er déc., elle a été de...	5560	
— 3e	—	du 1er au 8 décembre, de.....	2080	
— 4e	—	du 8 au 15 décembre, de.....	1200	
— 5e	—	du 15 au 22 décembre, de.....	1885	
— 6e	—	du 22 au 29 décembre, de.....	4735	
— 7e	—	du 29 décembre au 5 janvier, de.....	5680	
— 8e	—	du 5 au 12 janvier, de.....	3770	
Enfin, dans la 9e	semaine,	du 12 au 18 janvier, de.....	1700	

Ainsi la consommation totale a été de 32170 kilogrammes en 63 jours, ou, en moyenne, de 510 kilogrammes par jour, du 17 novembre au 5 janvier.

Les températures ont été, en moyenne, de 12° 2 à l'intérieur, de 4° 5 à l'extérieur, et par conséquent l'excès moyen s'est trouvé environ de 8°; pour une température intérieure constante de 10°, et une température moyenne extérieure de 6°, et par conséquent un

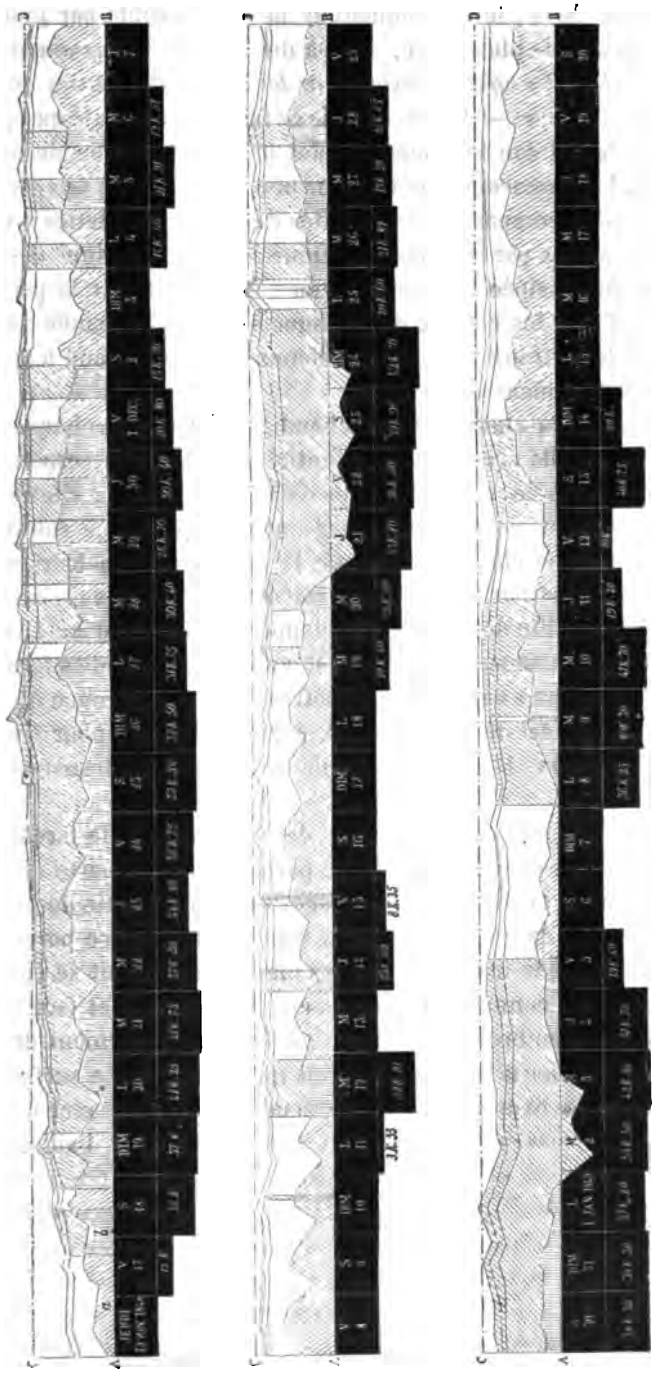


Fig. 679, 680 *et* 681.

excès moyen de 4°, la consommation de combustible par jour deviendrait deux fois plus petite, c'est-à-dire de 255 kilogrammes.

2762. *Calcul des effets produits par les différentes causes qui disséminent la chaleur.* — En partant de ce fait bien constaté que quand l'appareil produit son maximum d'effet la consommation de houille est de 40 kilogrammes par heure pour une différence de température de 16°, on peut comparer les quantités de chaleur produites à celles qui sont dissipées par les causes connues. Dans le cas dont il s'agit, la chaleur est dissipée : 1° par le tuyau à fumée ; 2° par la paroi du fourneau ; 3° par les canaux dans lesquels l'air est échauffé ; 4° par les murs et les vitraux ; 5° par l'écoulement de l'air chaud à travers les nombreux orifices des vitraux.

En assimilant la chaudière aux chaudières à vapeur, chaque kilogramme de houille produirait la quantité de chaleur correspondante à la vaporisation de 7 kilogrammes d'eau déjà à 100°, c'est-à-dire 7.550 = 3850 calories ; la différence entre la puissance calorifique de la houille et ce chiffre représente la quantité de chaleur perdue par la cheminée et par les parois du fourneau. Ainsi, dans le cas dont il s'agit, la quantité de chaleur développée est 3850.40 = 154000.

La chaleur transmise par les vitres, d'après les nouvelles formules (livre VI), pour une hauteur de 4 mètres, et une différence de température de 16°, est de 40 unités, et, par conséquent, pour les 860 mètres de vitraux, la quantité totale de la chaleur transmise sur 40.860 = 34400.

On peut négliger la chaleur perdue dans les canaux de circulation des tuyaux à eau chaude et de l'air, parce que cette perte diminue rapidement avec la durée du chauffage, et qu'une partie de la chaleur qui pénètre la paroi des canaux rentre dans l'église par le sol.

2763. La chaleur transmise par les murailles pourrait se calculer facilement si on connaissait exactement leur surface et leur épaisseur ; mais les nombres qui se trouvent au commencement du mémoire de M. Pottier ne peuvent être qu'approximatifs. La surface totale des murailles exposées à l'air me semble devoir excéder le nombre indiqué, l'épaisseur moyenne doit dépasser $0^m,5$, et d'ailleurs on ne peut pas prendre une moyenne pour ces épaisseurs, parce que les quantités de chaleur qui traversent les murailles ne varient pas en raison inverse des épaisseurs (987). Mais on peut trouver une valeur approchée de la quantité de chaleur transmise par les murailles, après avoir déterminé le volume d'air de ventilation. D'après le mémoire, les températures intérieures et extérieures qui correspondaient

au maximum d'effet étaient de 12° et de — 4° ; l'air qui pénétrait dans les canaux de circulation des tuyaux à eau chaude, y arrivait à — 4° et en sortait à 38° ; il y éprouvait donc un accroissement de température de 42° ; et comme la quantité de la chaleur absorbée par l'air représente la quantité de chaleur produite, en désignant par x le volume d'air appelé, on aura évidemment $x.\ 1{,}3.\ 42.\ 0{,}24 = 154000$; d'où l'on tire $x = 11882$ mètres cubes ; cet air s'échappant par les fissures des vitres devait avoir la température du verre, qui, dans le cas que nous considérons, avait un excès de température de 8° sur l'air extérieur. La perte de chaleur par mètre cube était alors de $1{,}3.\ 8.\ 0{,}24 = 2{,}5$, et par suite la perte de chaleur par l'air sortant s'élevait à $11882.\ 2{,}5 = 29705$. D'après cela, la perte de chaleur par les murailles était de $154000 - 34000 - 29705 = 90295$. Le volume d'air écoulé par seconde se trouvant de $3^{mc},30$ et la somme totale des orifices libres des bouches de chaleur de $1^{mq},93$, la vitesse d'écoulement était à peu près de 1 mètre.

2764. La quantité de chaleur émise par mètre carré et par heure, par les tuyaux pleins d'eau chaude placés dans les canaux parcourus par l'air qui s'échauffe, diffère complétement de ce qu'elle serait si les tuyaux étaient exposés à l'air libre. En effet, la chaleur émise par ces tuyaux, provient de la chaleur qu'ils communiquent directement à l'air, et de celle donnée à l'air par la surface du canal chauffée par leur rayonnement. Cette chaleur dépend certainement de la vitesse de l'air, et croît avec cette vitesse, suivant des lois inconnues ; mais elle diffère peu de celle qui serait dégagée par le tuyau exposé à l'air libre, et dont la température serait égale à la température moyenne de l'air à son entrée et à sa sortie du canal. Dans le cas dont il s'agit, la quantité de chaleur qui s'échappe par les bouches est de 154000 unités ; la surface des tuyaux étant de 168 mètres carrés, la chaleur transmise par mètre carré est de $154000 : 168 = 933{,}3$, pour une température moyenne de l'air égale à $(4 + 38) : 2 = 21$, et un excès moyen de $111 - 21 = 90$. Or, il résulte des formules qui ont été données dans le livre VI, que la quantité de chaleur perdue par un cylindre de fonte exposé à l'air, pour une différence de 90°, est égale à 466 pour la perte due au rayonnement, et à 340 pour celle qui provient du contact de l'air, en tout 806, nombre qui n'est pas trop en désaccord avec celui que nous venons de trouver.

Il est important de remarquer que le volume de l'église étant d'environ 32000 mètres cubes, et la ventilation étant d'à peu près 10000

mètres cubes par heure, l'air de l'église est totalement renouvelé huit fois par jour, et que l'air qu'elle contient suffirait à 3200 personnes, pendant une heure, à raison de 10 mètres cubes par personne.

Église Saint-Vincent de Paul.

2765. Les appareils de chauffage de cette église ont été construits par M. René Duvoir ; j'en donnerai une description succincte.

Le sol de la nef centrale est garni, à son contour, d'un caniveau fermé par une grille de fonte à jour et renfermant des tuyaux dans lesquels circule de l'eau chaude ; ce caniveau a $0^m,60$ de largeur. J'ai visité cette église un jour de la semaine et un dimanche de grande fête, lorsque la température extérieure était seulement de 2 degrés au-dessous de zéro ; partout la température était convenable et à peu près de 13 degrés.

La disposition adoptée présente un inconvénient qui paraît grave au premier abord : les chaises ne peuvent pas être placées sur les grilles du caniveau, du moins quand le chauffage est actif, parce que les grilles sont à une température trop élevée ; mais dans les jours de la semaine, il suffit de placer les chaises dans l'espace circonscrit par le caniveau, et pour les dimanches et les jours de fêtes, où l'affluence des fidèles est considérable, en suspendant le chauffage ces jours-là, les chaises peuvent être placées partout, et cette suspension ne diminue pas sensiblement la température, comme il est facile de le voir à cause de l'immense quantité de chaleur renfermée dans les murailles ; je m'en suis d'ailleurs assuré par l'examen des thermomètres. Par cette méthode, il n'y a point de ventilation forcée ; mais j'ai reconnu qu'un jour de grande fête où l'église était remplie et pouvait contenir environ 2000 personnes, nulle part il n'y avait de mauvaise odeur appréciable ; ainsi il se faisait une ventilation naturelle par les joints des vitres et par les portes qui s'ouvrent si fréquemment ; d'ailleurs la grande masse d'air renfermée dans l'église concourait à son assainissement pendant la durée de l'office. Ce mode de chauffage permettrait facilement d'effectuer une ventilation, si on la supposait nécessaire ; il suffirait, pour cela, d'établir sous le caniveau contenant les tuyaux à eau chaude, un canal communiquant avec l'extérieur et garni d'un grand nombre d'ouvertures s'ouvrant au-dessous des tuyaux ; il est évident que si la somme des fissures des vitraux ne présentait pas une surface suffisante, il faudrait ouvrir des orifices à la partie supérieure ou à une certaine hauteur.

Il résulte des expériences thermométriques faites dans cette église, un phénomène fort singulier : à partir d'une certaine hauteur, la température va en décroissant à mesure qu'on s'élève davantage ; ce phénomène résulte, sans aucun doute, de ce que la partie supérieure de l'église, n'étant pas séparée comme à l'ordinaire de la toiture par une voûte, l'air y éprouve un grand refroidissement et qu'il se manifeste des courants d'air froid descendants dans toute la surface de la grande nef.

L'eau chaude ne circule dans les tuyaux que dans un seul sens ; mais, pour obvier à l'influence du refroidissement qu'elle éprouve dans son trajet, le tuyau, vers la fin de la course, se divise en plusieurs autres qui présentent une plus grande surface ; il y aurait certainement de l'avantage à faire mouvoir l'eau en sens contraire, dans deux circuits placés dans le caniveau, car alors la somme des températures des tuyaux à chaque point du circuit serait sensiblement constante.

Le constructeur pense que ce mode de chauffage est plus économique que celui qui est employé dans les églises où le tuyau passe dans les caves, parce qu'il y a moins de chaleur transmise à travers le sol ; mais comme, dans la nouvelle disposition, il y a beaucoup de chaleur rayonnée contre les murailles, on ne pourrait résoudre la question qu'à l'aide d'expériences qui n'ont point été faites.

D'après des indications qui m'ont été données par le constructeur, pendant cinq jours du mois de mars 1853, la température moyenne de l'église a été à très-peu près égale à 14°, la température moyenne extérieure des cinq jours de 7°, et la consommation moyenne de combustible de 280 kilogrammes par jour.

Église Saint-Sulpice.

2766. En 1852, M. le curé de Saint-Sulpice pria M. le baron Thenard de présider une commission pour juger les différents projets de chauffage de son église qui avaient été présentés par plusieurs ingénieurs et constructeurs. La commission était composée de MM. Thenard, Regnault, Despretz, Seguier, membres de l'Institut, et moi. Trois concurrents présentaient des projets : M. Duvoir-Leblanc, M. René Duvoir et M. Grouvelle.

2767. Le projet de M. Duvoir-Leblanc consistait dans l'établissement de deux chaudières à eau chaude placées l'une près du centre de l'église, la seconde au-dessous de la chapelle de la Vierge. Le

chauffage devait avoir lieu par de l'air échauffé contre des tuyaux à eau chaude et versé dans l'église par dix-sept bouches de chaleur distribuées au niveau du sol. Un poêle à eau chaude devait être placé dans la sacristie, et trois autres plus petits dans les salles qui en dépendent. Le devis s'élevait à 23000 francs (non compris les frais d'installation, la construction de la cheminée à fumée, etc.); et le constructeur s'engageait à maintenir une température de 10° dans l'église, de 15° dans la sacristie et les salles qui en dépendent, moyennant une somme de 11 francs par jour, quand un seul des deux appareils fonctionnerait, et de 25 francs quand les deux appareils seraient en activité, y compris les frais d'entretien.

2768. La maison René Duvoir avait présenté deux projets. Le premier consistait à chauffer le sol, recouvert en grande partie par des plaques de fonte, au moyen de tuyaux à eau chaude. La dépense d'établissement s'élevait à 43368 francs, et le mémoire ne renfermait que des indications vagues sur la dépense de combustible. Le second projet consistait dans un chauffage à air chaud au moyen de calorifères à air. Le devis s'élevait à 28532 francs et en outre à 8777 francs si on voulait chauffer la nef à l'eau chaude. Ces projets étaient accompagnés de dessins représentant tous les détails de construction.

2769. M. Grouvelle avait présenté trois projets. Le premier consistait en deux calorifères à air, formés de tuyaux parcourus par la fumée, l'air chaud était conduit par des tuyaux en terre cuite, environnés de matières conduisant mal la chaleur, à dix-huit bouches de chaleur situées au niveau du sol et convenablement distribuées sur la surface de l'église ; l'air appelé par les calorifères, pouvait être pris à volonté dans l'église et en dehors. Le devis s'élevait à 29000 fr. ; et, pour maintenir une température constante de 15°, M. Grouvelle s'engageait à ne pas consommer plus de 600 kilogrammes de houille par jour. Le second projet ne différait du premier que par la forme des calorifères ; les tuyaux de fonte, au lieu d'être parcourus par la fumée, étaient parcourus par l'air, et le devis s'élevait seulement à 25000 francs. Enfin dans le troisième projet les dispositions étaient les mêmes que dans les deux premiers, seulement l'air était échauffé sur des tuyaux à eau chaude, et les frais d'établissement s'élevaient à 36000 francs. M. Grouvelle proposait d'ajouter à ce dernier projet une surface de fonte placée au milieu de la nef, à fleur du sol, de 28 mètres de longueur sur $0^m,85$ de largeur, recouvrant un canal occupé en partie par un tuyau plein d'eau chaude replié sur lui-même ;

la dépense de cette addition s'élevait à 1600 francs. Tous ces projets étaient accompagnés de dessins très-détaillés.

2770. La commission a été d'avis que le projet de M. René Duvoir qui consistait à chauffer le sol est très-bon pour chauffer les pièces où l'on ne séjourne pas longtemps à la même place, comme la Bourse, les salles d'attente des chemins de fer; mais pour une église, il paraît peu convenable. Pour que l'on puisse rester longtemps sur des plaques de fonte, il faut nécessairement que l'eau qui est au-dessous soit à une température peu élevée, car le refroidissement des plaques étant très-affaibli par les personnes qui les recouvrent, leur paroi extérieure acquerrait bientôt une température voisine de celle de l'eau. D'ailleurs elles ne chaufferaient l'église que quand elles ne seraient pas couvertes, c'est-à-dire quand il n'y aurait personne; elles chaufferaient surtout les murailles par rayonnement, et la moitié seulement de la chaleur émise serait employée à chauffer l'air. Enfin, ce système n'avait point encore été essayé et on ne savait sur quelle base calculer la dépense de combustible. La commission a ensuite examiné les avantages et les inconvénients des deux systèmes de calorifères, et elle a considéré les calorifères à eau chaude comme préférables. Il n'y avait plus à hésiter qu'entre le projet de M. Duvoir-Leblanc et le dernier de M. Grouvelle.

Voici les considérations qui ont motivé son choix.

2771. Le projet de M. Duvoir-Leblanc ne renferme aucun des détails nécessaires pour se rendre compte de l'efficacité et du prix de revient des appareils; de plus, les conditions du prix demandé pour le chauffage donnent trop de latitude à l'entrepreneur, car le chauffeur pourra quand il le voudra, en diminuant la consommation de combustible dans un des foyers, allumer l'autre; de pareilles conditions ne sont pas acceptables. Au contraire, le devis de M. Grouvelle est complet; ses engagements sont nets et précis; seulement il porte trop haut la température qui doit être maintenue dans l'église. D'après ces considérations, la commission a été d'avis d'admettre le projet de M. Grouvelle comme préférable aux autres, mais elle pense qu'un marché à forfait pour les appareils, l'entretien et le chauffage ne doit être fait qu'après l'examen des détails du devis et des frais de chauffage pour une température de 13 à 14° bien suffisante dans une église.

2772. L'avis de la commission n'a point été suivi, et le conseil de fabrique, dans lequel se trouvaient deux membres de la commission, partisans très-zélés de M. Duvoir-Leblanc, a adopté le projet de cet

entrepreneur avec toutes ses conditions. Seulement, d'après un extrait des registres des délibérations du conseil de la fabrique de Saint-Sulpice, inséré dans une brochure de M. Boudin, médecin en chef de l'hôpital militaire du Roule, la condition de maintenir une température de 10° dans l'église, n'existe qu'autant que la température extérieure sera supérieure à 6°, le second appareil ne marchera que quand le chauffeur en recevra l'ordre, mais il devra marcher au moins 8 jours. Or, comme la température extérieure est au-dessous de 6° au moins 3 mois de l'année, décembre, janvier et février, soit 90 jours, et que le marché est fait pour 212 jours, il s'ensuit que le chauffage coûtera au moins 90.25 + 122. 11 = 3582, ou en moyenne 16 fr. 90 par jour. Je n'ai pu me procurer aucun renseignement sur les résultats obtenus.

2773. Nous avons déjà eu l'occasion de parler des dangers que présente l'emploi des poêles en fonte, soit pour le chauffage à l'eau soit pour le chauffage à la vapeur, quand cette dernière est employée à haute pression : un exemple terrible de ce danger s'est manifesté dans l'église Saint-Sulpice au mois de janvier 1858.

Dans le *Cosmos* du 15 janvier de cette année, M. l'abbé Moigno donne le récit d'une explosion dont il fut témoin oculaire et des effets qui en furent la conséquence. « A dix heures et demie, dit l'auteur de la relation, nous sommes monté à l'autel de la Vierge pour célébrer la sainte messe ; plus de cinquante personnes y assistaient. Nous avions atteint l'offertoire, lorsque tout à coup une détonation forte et sèche s'est fait entendre à quelques pas de nous ; les chaises sont renversées ; la pieuse foule s'est précipitée vers le sanctuaire ; *un nuage épais de vapeur d'eau barrait l'entrée de la chapelle et empêchait de voir ce qui s'était passé;* nous avons vu un instant après qu'un poêle plein d'eau bouillante avait fait explosion. L'intensité du froid avait forcé depuis près de 15 jours d'allumer le grand calorifère à circulation d'eau chaude ; deux poêles en fonte, placés, l'un à droite, l'autre à gauche de l'entrée de la chapelle, et qui servent de piedestaux à deux statues d'anges en bois, font partie de cette circulation ; leur hauteur est d'environ $1^m,50$ et ils doivent toujours être pleins d'eau ; le chauffeur, même en consumant de six heures à neuf heures du matin 1500 kilogrammes de charbon, n'atteignait pas la température fixée par le cahier des charges de l'entrepreneur. Ce seul fait bien interprété suffisait à indiquer que la circulation d'eau n'était pas bien établie et que le tuyau du retour d'eau était obstrué du moins en partie..... Quoique primitive

ment essayé à sept atmosphères, l'un des poêles, celui de gauche n'a pas résisté, sa partie antérieure a cédé, elle s'est brisée en trois gros éclats qui ont été projetés en ligne droite contre le poêle de droite et l'angle qui le surmontait. A un mètre en avant du poêle de gauche se trouvait une chaire portative que les éclats de fonte ont brisée en morceaux quoiqu'elle fût de chêne très-dense. Atteintes par les débris de fonte et de bois, les personnes placées entre les deux poêles ont été horriblement blessées et mutilées ; l'une a été tuée sur le coup ; deux autres sont mortes quelques instants après. En même temps, le flot d'eau bouillante sorti des flancs entr'ouverts du poêle est venu ajouter ses ravages à ceux des éclats de bois et de fonte. Deux pauvres dames ont été presque littéralement cuites... le nombre des morts est déjà de cinq, celui des blessés dépasse dix. »

2774. Il résulte de cet exemple même, ainsi qu'on pouvait le prévoir, que les poêles en fonte à eau chaude peuvent subir une explosion véritable par l'excès de pression qui peut s'y produire, soit par la négligence de l'ouvrier qui conduit le feu, soit par une obstruction dans les tuyaux de circulation, ou bien par un vice de qualité de la matière. Aux dangers provenant de l'explosion proprement dite, c'est-à-dire des éclats du poêle agissant comme projectiles, viennent s'ajouter ceux qui résultent de la vapeur brûlante qui s'en dégage et qui, comme nous l'avons déjà dit, peut acquérir un volume égal à 140 fois celui de l'eau chaude contenue non-seulement dans le poêle, mais dans tout le système de circulation. Cette vapeur peut produire non-seulement des brûlures extérieures, mais, ce qui est souvent plus grave, amener des brûlures internes dans les poumons. L'explosion d'une chaudière à eau chaude est aussi dangereuse que celle d'une chaudière à vapeur, car elle supporte souvent une pression qui peut aller jusqu'à quatre ou cinq atmosphères. On devrait donc en prohiber le placement dans les lieux habités comme on le fait pour les chaudières à vapeur dont la capacité dépasse un certain volume.

Cathédrale de Belley (Ain).

2775. La grandeur du vaisseau des églises dispense dans la plupart des cas de l'appel d'air extérieur ; on peut chauffer très-facilement ces édifices, et souvent très-économiquement au moyen de calorifères à air chaud. MM. Geneste et Hercher ont fait un grand

nombre de ces installations, nous donnerons comme exemple celle qu'ils ont établie à la cathédrale de Belley et qu'ils viennent d'appliquer à la cathédrale de Saint-Denis sous la direction de M. Viollet-le-Duc.

La cathédrale de Belley présente un cube de 30,000 mètres, elle a 78 mètres de longueur. On a placé, pour chauffer cette église, deux calorifères à niveau du sol dans une petite chambre construite extérieurement entre deux contreforts du chœur. Ces calorifères sont métalliques, à surfaces nervées, le foyer est garni de briques réfractaires, chacun d'eux est complété par un appareil hémicycloïdal afin d'obtenir une utilisation complète de la chaleur (1894). L'air froid est pris sur le sol même de la cathédrale, dans un des bas côtés et vers le milieu de la longueur de l'église, à environ 25 mètres de la chambre de chaleur ; l'ouverture de la prise d'air sur le sol est munie d'une grille, un caniveau souterrain amène l'air au contact des appareils et retourne dans l'église par une large ouverture placée à environ 3 mètres du sol. On produit ainsi une circulation continue de l'air de l'église ; on obtient de bons résultats de ce système à condition que l'église soit aussi bien close que possible et que des bouches d'appel et de sortie de l'air aient des dimensions suffisantes.

A Belley, par ces dispositions la température extérieure, étant descendue à — 6°, il a été possible d'obtenir une température intérieure de 10 à 12°, après quelques heures de chauffage seulement, soit une différence de 16 à 18° sur la température extérieure. L'avantage de ce système, dans lequel le renouvellement de l'air est rapide, est surtout d'obtenir un chauffage prompt, et qui sera surtout économique, si le chauffage doit être intermittent.

Observations générales sur le chauffage des églises.

2776. Il résulte des faits que j'ai rapportés, et de tous les renseignements que j'ai pu recueillir que le chauffage des églises s'effectue toujours par l'air chaud et dans aucun cas, par la chaleur, rayonnante. Ainsi c'est le modede chauffage à l'air chaud qu'il faut admettre. De toutes les églises chauffées, je n'en connais qu'une seule, celle de Saint-Roch, dans laquelle il y ait une ventilation artificielle, et comme dans toutes les autres il ne paraît pas que cette absence d'une ventilation artificielle ait des inconvénients, on doit en conclure qu'elle n'est pas nécessaire, sans aucun doute, parce qu'il se

produit toujours une ventilation naturelle par l'ouverture si fréquente des portes et les fissures des vitraux, et à cause du grand volume d'air renfermé dans l'enceinte, volume qui suffirait seul à l'assainissement pendant le petit nombre d'heures de la journée où l'église est remplie. Toutefois je pense qu'il est toujours utile de disposer l'appareil de manière à ce que l'air qui vient se chauffer dans le calorifère puisse à volonté être pris dans l'église ou en dehors. Cette disposition n'exige d'ailleurs qu'un faible accroissement de dépense.

2777. Quant à la nature du calorifère, il peut être à air brûlé, à eau chaude ou à vapeur ; mais ces derniers exigent une surveillance particulière de la part du chauffeur : aussi ils ne sont jamais employés. Restent alors les deux premières espèces, qui ont chacune des avantages et des inconvénients qui leur sont propres. Les calorifères à air brûlé coûtent moins que ceux à eau chaude, parce qu'il n'y a qu'un seul système de surfaces de transmission ; la conduite du foyer ne demande que peu de soins si on se sert de foyers à alimentation continue ; la chaleur peut être aussi bien utilisée que dans les appareils à eau chaude ; et la perte dans les conduits est faible, si l'air est chauffé seulement de 40 à 50°, et si les tuyaux de conduite n'ont qu'une faible longueur, ce qui exige, du reste, que les calorifères soient assez nombreux. Les calorifères à eau chaude nécessitent plus de frais de premier établissement ; les foyers, même sans alimentation continue, exigent moins de soins et de surveillance, et en plaçant les tuyaux d'aller et de retour dans le même conduit, l'air peut être échauffé à peu près à la même température sur une grande longueur ; un seul foyer suffit pour les plus grandes églises, mais les pertes de chaleur par les surfaces des tuyaux de conduite de l'air peuvent être plus considérables que dans les calorifères à air brûlé, parce que les surfaces intérieures chauffées par le rayonnement des tuyaux sont à une température plus élevée. Ainsi les calorifères à eau chaude sont d'un usage un peu plus commode ; mais ils coûtent davantage et n'utilisent pas aussi bien la chaleur que ceux à air brûlé, du moins quand ces derniers sont convenablement disposés. Il faut ajouter que le chauffage à eau chaude nécessite souvent de fréquentes réparations dans les conduites et tenir compte des dangers d'explosion que nous avons signalés plus haut.

2778. Voici maintenant la disposition qui me paraît la plus convenable à adopter. Je supposerai d'abord que le calorifère est à eau chaude. Un canal en briques serait placé au-dessous de l'axe de la nef

centrale ; il renfermerait les petits tuyaux de circulation de l'eau chaude ; à sa partie supérieure se trouverait un certain nombre d'espèces de puits cylindriques fermés à la partie supérieure et au niveau du sol par des grilles de fonte à jour ; chacun de ces puits renfermerait un poêle à eau chaude. Dans les axes des nefs latérales, se trouverait un même nombre de puits, fermés de la même manière, à fleur du sol, par des plaques de même section ; au-dessous existeraient des canaux horizontaux, venant aboutir au canal central et renfermant les tuyaux de circulation. Par cette disposition, l'air chaud s'élèverait par la partie centrale de l'église et descendrait par les faces latérales, pour s'échauffer de nouveau en passant autour des poêles. Les tuyaux horizontaux de retour d'air devraient être pourvus de registres, de manière à pouvoir amener à volonté dans le canal de l'air extérieur ou de l'air pris dans l'église. On pourrait remplacer les poêles par de gros tuyaux d'aller et de retour placés dans le canal central ; la dépense de premier établissement serait plus faible, et le chauffage plus régulier ; enfin le danger d'explosion se trouverait ainsi diminué ; mais il y aurait probablement plus de perte de chaleur par les parois du canal, qui renfermerait de l'air à une plus haute température et dont la surface intérieure serait plus échauffée par le rayonnement de ces gros tuyaux que par celui des petits tuyaux qui établissent la circulation dans les poêles.

Le chauffage sans ventilation aurait lieu la nuit, le matin et le soir, quand l'église n'est pas occupée, et avec ventilation le reste du temps ; les orifices des vitraux, ceux qui existent toujours dans la voûte, sans compter les ouvertures si fréquentes des portes, seraient bien suffisants pour faire sortir l'air chaud lancé par le calorifère.

2779. Si les calorifères étaient à air brûlé, il faudrait en établir plusieurs au-dessous de l'axe de la nef centrale ; chacun enverrait l'air chaud dans des caniveaux suspendus à la voûte des caves, et le verserait par des ouvertures disposées de la même manière que quand le calorifère est à eau chaude ; les retours d'air des bas côtés se feraient comme dans le premier cas, ainsi que les appels directs d'air extérieur. Les tuyaux à fumée pourraient être placés dans les canaux destinés à conduire l'air brûlé à la cheminée. Les calorifères Gurney et surtout les *calorifères français* de MM. Geneste fils et Hercher frères sont d'un bon emploi pour le chauffage des églises. On peut les employer à niveau du sol et sans faire d'excavation, comme nous l'avons vu pour la cathédrale de Belley, on arrive ainsi à des dispositions très-économiques d'installation et d'entretien.

2780. Pour déterminer les dimensions des différentes parties de l'appareil, il faut connaître, au moins approximativement, la quantité de chaleur à fournir à l'église pour compenser les pertes par les vitres et les murailles : c'est un calcul qui ne présente aucune difficulté. Je prendrai pour exemple l'église de Saint-Sulpice, dont toutes les dimensions ont été mesurées par M. Grouvelle pour l'établissement de son projet, en prenant pour les pertes de chaleur par heure celles qui résultent des formules du livre VI, et en supposant la température intérieure de 10° et la température extérieure de 6°, moyenne de la saison d'hiver.

Pertes par les surfaces des vitres.....	$1132^m \times 10 = 11320$
Pertes par les murs de la façade, de 2^m d'épaisseur.....	$805^m \times 2,14 = 1706$
Pertes par les murs du pourtour des chapelles, de $1^m,20$ d'épaisseur.....	$2948^m \times 2,98 = 8785$
Pertes par les murs de la nef, de $0^m,80$ d'épaisseur.....	$3865^m \times 3,44 = 13295$
Pertes par les toits des chapelles et de la galerie de côté, de $0^m,70$ d'épaisseur.....	$2805^m \times 3,62 = 10154$
	45260^c

2781. Dans les plus grands froids, lorsque l'eau sera chauffée à la plus haute température, on ne peut pas compter sur un effet utile du combustible supérieur à celui qu'on obtient dans les générateurs qui produisent 7 kilogrammes de vapeur, c'est-à-dire sur plus de 4,000 calories ; mais, comme on peut toujours utiliser une partie de la chaleur perdue pour chauffer de l'air qui serait versé dans l'église, et que, au commencement et à la fin de la saison du chauffage, l'eau est beaucoup moins échauffée, on peut sans aucun doute obtenir de 5 à 6,000 calories. En comptant seulement sur 5,000, la consommation moyenne par heure serait de $9^k,05$, et par jour moyen de 217 kilogrammes. A cette dépense il faut ajouter celle qui résulte de la ventilation naturelle qui se produit par l'ouverture si fréquente des portes, les fissures des fenêtres et les ouvertures de la voûte à travers lesquelles passent les cordes de suspension des lustres. Quand les portes sont doubles et assez espacées pour que l'une d'elles soit constamment fermée, la ventilation naturelle se réduit à peu près à celle qui se produit par les fissures des vitres situées à différentes hauteurs et par les orifices de la voûte ; mais elle peut varier dans des limites très-étendues, suivant le nombre et les dimensions des joints

et des ouvertures, et à ce sujet on ne peut faire que des suppositions très-vagues. La ventilation par appel, qui a été observée à Saint-Roch pour une température extérieure de — 4° et une température intérieure de 12°, c'est-à-dire pour un excès de température de 16°, était, comme nous l'avons vu, d'environ 11,000 mètres cubes d'air par heure, et cet air sortait par tous les orifices libres ; la ventilation naturelle aurait été beaucoup plus faible, parce que les orifices se seraient partagés en deux parties, les uns pour l'accès, les autres pour la sortie. Du reste, cette ventilation eût été d'autant plus grande que la température extérieure eût été plus basse. En la supposant moyennement de 10,000 mètres cubes d'air par heure, supposition très-exagérée, si les précautions convenables ont été prises, la quantité correspondante de chaleur perdue serait par heure de 3,120 centimètres, et par jour de 74,800 qui correspondent à peu près à 15 kilogrammes de houille. Ainsi, la dépense moyenne par jour s'élèverait à 217 + 15 = 232 kilogrammes. Mais, comme l'appareil devrait suffire au maintien de la température pendant les grands froids, qui dans notre climat se font sentir rarement pendant plusieurs jours consécutifs, la surface de la chaudière et celle des tuyaux de chauffage devraient être calculées pour une consommation correspondant à un excès de température de 10 — (— 6) = 16, c'est-à-dire de 4,232 = 928 kilogrammes par jour, ou par heure de 38^{k},66 ; en comptant sur 40 kilogrammes, il faudrait donner à la chaudière 17 à 18 mètres carrés. Quant aux surfaces des tuyaux ou des poêles à eau chaude, comme la consommation de combustible est la même que celle qui a été observée à Saint-Roch pour le même excès de température, en supposant l'excès de pression de 2 atmosphères, la température moyenne dans le circuit serait également de 111° ; mais la température moyenne de l'air serait de (10 + 38) : 2 = 24 ; l'excès de la température de l'eau sur celle de l'air, de 111 — 24 = 87 ; chaque mètre carré transmettrait à peu près 933.87 : 90 = 902 centimètres ; et comme il y a environ 16,0000 unités de chaleur à transmettre, on devrait compter à peu près sur 180 mètres carrés de surface de transmission. Il faudrait, comme à Saint-Roch, 3 ou 4 mètres de différence de niveau. Quant aux orifices d'accès et de sortie, pour que l'air n'eût pas une trop grande vitesse il conviendrait de donner à la somme des orifices libres d'accès et de sortie et aux tuyaux de retour à peu près 3 mètres de section, ce qui correspond à peu près à une vitesse de 1 mètre.

2782. Si les calorifères étaient à air brûlé, on pourrait compter sur

une quantité de chaleur transmise par mètre carré et par heure au moins égale à 30,000 calories.

Dans tous ces calculs nous avons négligé les pertes de chaleur par la voûte et par le sol, mais elles sont très-faibles.

CHAPITRE V

Chauffage et assainissement des prisons.

Suivant mon usage, je parlerai d'abord des dispositions qui ont été employées, je donnerai les résultats des expériences qui ont été faites, et j'indiquerai ensuite les dispositions qui me paraissent préférables dans les différents cas.

Prison Mazas.

2783. En 1843, une commission fut nommée par M. le préfet de la Seine pour examiner des projets de chauffage et de ventilation de cette prison cellulaire, présentés par M. Grouvelle et par M. Léon Duvoir-Leblanc. Cette commission était composée de M. Arago, président, de MM. Gay-Lussac, Pouillet, Dumas, Boussingault, Andral, membres de l'Académie des sciences ; Péclet, Félix Leblanc, Bouvattier, Grillon, Marcellot, membres du conseil général de la Seine ; Durand et Jay, membres de la commission d'architecture de la ville de Paris ; Lecointe et Gilbert, architectes de la nouvelle prison ; Mastrelle, chef de division, et Darié, chef du bureau des travaux de la ville de Paris.

Une sous-commission, composée de MM. Dumas, Boussingault, Andral, Péclet et Leblanc, fut chargée d'étudier les modes de ventilation et de vidange qu'il serait le plus convenable d'employer, et de déterminer par l'expérience le volume d'air qui devait être fourni par heure à chaque détenu. Une autre sous-commission, composée de MM. Boussingault, Péclet et Leblanc, avait pour mission d'examiner les projets de chauffage et de ventilation présentés par les deux concurrents.

2784. A l'époque de la nomination de la commission, les constructions de la prison Mazas n'étaient point terminées. D'après les plans en voie d'exécution, ils consistaient en six bâtiments rayonnant autour d'un centre commun, comprenant ensemble à peu près les deux

tiers de la circonférence, et enveloppés par un mur d'enceinte ; chaque bâtiment devait être divisé en deux parties, par un grand corridor ayant la même longueur et s'élevant jusqu'au toit ; chaque aile devait renfermer trois étages de cellules, y compris celles du rez-de-chaussée ; celles du premier et du second étage étaient desservies par un balcon. Le bâtiment destiné à l'administration devait être placé dans l'angle formé par le premier et le sixième bâtiment de la prison. Cette description succincte est suffisante pour faire comprendre les principes des projets présentés par les concurrents.

2785. Le projet de M. Grouvelle a été adopté et exécuté. Ses appareils fonctionnent depuis 1850. Je pourrais me borner à parler de ce projet, mais comme le procédé de M. Léon Duvoir-Leblanc a été appliqué aux prisons cellulaires de Senlis, Tours, Saint-Quentin, Château-Thierry et Copenhague, et qu'il s'agit d'une question sanitaire s'appliquant à des malheureux qui ne peuvent pas se plaindre, je saisis l'occasion de le discuter, puisque c'est une commission offrant toutes les garanties d'impartialité qui a prononcé sur le mérite relatif des systèmes. Cet examen offre d'autant plus d'intérêt que le projet de M. Duvoir-Leblanc avait été admis par la commission d'architecture.

2786. M. Léon Duvoir avait présenté trois projets qui ne différaient que par le mode employé pour produire l'appel de l'air de la ventilation. Le chauffage est à circulation d'eau chaude ; il se fait au moyen de six chaudières dites *hydropyrotechniques* placées dans les caves, une pour chaque aile de la prison ; une septième chaudière sert au chauffage du bâtiment d'administration.

Sous chaque corridor se trouve un canal dans lequel on dispose huit *poêles à eau chaude*, équidistants, et réunis par des tuyaux en fonte, et dans lesquels la température devra être variable, suivant la température extérieure. L'air appelé par les ouvertures, communiquant avec l'extérieur, pénètre dans le canal qui règne sous le corridor, s'échauffe par son contact avec les tuyaux et les poêles à eau, et se répand dans l'enceinte par huit bouches de chaleur dont la position correspond à celle des huit poêles. L'air du corridor ainsi chauffé est ensuite versé dans les cellules par un moyen d'appel dont nous rendons compte plus bas. Comme, à raison du mode de chauffage de l'air dans les corridors, il ne saurait régner dans cette enceinte une température uniforme, M. Duvoir a muni chacune des cellules du rez-de-chaussée d'une bouche spéciale de chaleur communiquant avec le canal d'air chaud du corridor.

Quant à la rotonde, elle est en partie chauffée par la fumée des calorifères qui passe sous des plaques de fonte placées au pourtour de cette pièce; le courant d'air circulant autour des conduits de fumée s'échauffe et se répand dans la pièce par plusieurs bouches de chaleur; de plus, un poêle à eau chaude occupe le centre de cette rotonde. Les autres salles du rez-de-chaussée sont chauffées par des poêles à eau chaude et des bouches de chaleur, émettant de l'air chauffé au contact des tuyaux à circulation.

2787. Dans chacun des projets de M. Duvoir, l'expulsion de l'air des cellules et salles du rez-de-chaussée a lieu au niveau du sol par des conduits qui se rendent sous les grilles des foyers des chaudières; l'évacuation de l'air des cellules des étages supérieurs, au contraire, a lieu par le haut; à cet effet, il existe dans chaque cellule une cheminée verticale à section carrée de $0^m,12$ de côté; toutes ces cheminées viennent se rendre individuellement dans une série de tuyaux circulaires en tôle de $0^m,13$ de diamètre et qui courent horizontalement à la partie supérieure du bâtiment pour aboutir aux cheminées chargées de déterminer l'aspiration générale.

Dans le premier projet, l'appel est obtenu au moyen d'une cheminée par corps de bâtiment; cette cheminée reçoit les fumées des foyers de chaudières et sert à l'appel dans les deux étages supérieurs des cellules; dans le second projet, on établit deux cheminées de $4^m,50$ de haut, placées sur les combles, et servant chacune à la ventilation d'un étage de cellules, l'appel y est produit par un réservoir à eau chaude, dont la surface de chauffe est de 66 mètres carrés; il est chauffé au moyen de chaudières placées dans la cave et par circulation. Enfin, dans le troisième projet, les poêles à eau du précédent sont remplacés par des foyers placés dans les combles.

2788. L'hiver, l'air des couloirs échauffé passe dans les cellules par la partie supérieure et sort par deux ouvertures : l'une communique à un canal qui court sous le sol, se rend à la caisse qui renferme le vase de nuit et s'échappe ensuite par une gaîne verticale qui le mène à la cheminée; l'autre ouverture placée près de la première parcourt un petit canal horizontal, puis est traversé dans le corridor; on aurait, d'après M. Duvoir, une circulation d'air du corridor aux cellules et de celles-ci au corridor; pour les cellules du rez-de-chaussée, l'air qui a traversé la caisse du vase de nuit se rend sous les foyers des chaudières.

2789. A chaque étage des cellules se trouve un cabinet de vidange placé à l'extrémité du couloir; les vases de nuit sont vidés dans un

conduit répondant, par son extrémité inférieure, à une tonne placée au rez-de-chaussée, où les déjections viennent s'accumuler ; ce cabinet est divisé en deux compartiments munis chacun d'une porte ; à la partie supérieure une prise d'air extérieur a été ménagée. L'air aspiré descend d'abord, par l'entonnoir correspondant à chaque étage, au conduit de vidange ; puis il remonte presque immédiatement dans une cheminée d'appel où un tirage énergique est déterminé par le tuyau à eau chaude qui se dirige vers les combles.

2790. L'été, la ventilation des couloirs aura lieu par un appel qui s'établira à la partie supérieure en ouvrant plusieurs orifices dont les sections réunies auront $1^{mq},39$; ces ouvertures restent fermées pendant l'hiver ; en ouvrant deux lucarnes à droite et à gauche de chaque ouverture, il y aura appel énergique, suivant M. Duvoir, l'air du grenier étant très-échauffé.

L'appel de l'air extérieur aura lieu par des tuyaux en zinc ou en maçonnerie placés dans l'intérieur des caves, et débouchant dans le canal longitudinal du corridor.

2791. M. Duvoir propose d'entourer, au besoin, ces conduits de glace pour rafraîchir convenablement l'air d'admission. L'air de ventilation pénétrera du corridor dans les cellules par le bas ; la sortie de l'air a lieu, pour toutes les cellules sans exception, par les cheminées verticales aboutissant dans les combles, et qui, au rez-de-chaussée, sont bouchées pendant l'hiver, lors de l'appel par le foyer. Les conduits qui se rendent sous le cendrier sont, au contraire, bouchés pendant l'été, ainsi que les orifices supérieurs communiquant avec le corridor. Les réservoirs d'eau chaude, placés dans les cheminées, déterminent l'appel général. Ainsi que nous l'avons déjà dit, suivant le deuxième projet de M. Duvoir, cette eau est chauffée par un tuyau ascensionnel partant du calorifère. Dans le troisième projet, les communications de ces poêles avec les calorifères des caves sont supprimées, et chaque réservoir est chauffé par un foyer spécial placé dans les combles. On charge d'un seul coup tout le combustible destiné à chauffer l'eau du poêle qui produit la ventilation.

Enfin M. Duvoir indiquait deux modifications possibles aux projets qu'il avait présentés : le premier consistait à chauffer les cellules directement au moyen de conduits placés dans l'épaisseur des murs, en supprimant toute communication entre les cellules et le corridor ; le second aurait consisté à chauffer directement les cellules de la

même façon et à chauffer ensuite le corridor au moyen de l'air venant des cellules.

2792. La sous-commission chargée de l'examen de ces projets releva d'abord leur extrême complication ; elle blâma le chauffage préalable des corridors devant produire une température supérieure à celle des cellules, et surtout la circulation des cellules au corridor et réciproquement, qui aurait pour effet de ramener l'air vicié dans les cellules. Relativement aux modifications présentées par M. Duvoir pour répondre à cette dernière objection, la sous-commission pensa que le chauffage présenterait alors une très-grande inégalité dans les trois étages. Dans tous les cas, le système adopté par M. Duvoir paraissait moins avantageux que celui dans lequel l'air de ventilation débouche par un seul orifice pratiqué dans le sol, parce que cette dernière disposition permet aux détenus de se chauffer les pieds dans le courant d'air chaud.

Le système d'appel du premier projet fut immédiatement rejeté comme devant produire des effets très-faibles et très-variables ; celui du troisième projet le fut également à cause des soins qu'il exige particulièrement et des dangers d'incendie qu'il présente. Quant au mode employé dans le deuxième projet, on lui reprochait d'exiger de très-grandes surfaces de chauffe déterminant un accroissement de dépense considérable ; de plus, la ventilation, se trouvant alors dépendante du chauffage, diminuera quand la température extérieure s'élèvera ; le même inconvénient s'applique à la ventilation des cellules du rez-de-chaussée dont l'air est envoyé dans les foyers des chaudières. Enfin l'air de la ventilation s'échappant par 18 cheminées, le système présenté rend, au point de vue de l'entretien, le contrôle à peu près impossible, et l'administration se trouverait complétement à la discrétion de l'entrepreneur sous le rapport de la ventilation.

2793. Nous ferons une remarque que nous n'avons pas consignée dans notre rapport. D'après le dessin très-détaillé et à une grande échelle d'un des fourneaux, la fumée se dégage par deux tuyaux de tôle ayant chacun $0^{m},20$ de diamètre, dont la somme des sections est de $0^{mq},0628$.

Or, chaque cendrier, dans le système de M. Duvoir, devrait produire la moitié de la ventilation d'un bâtiment, c'est-à-dire appeler 10,850 mètres cubes d'air par heure ou 3 mètres cubes par seconde : la vitesse dans les tuyaux devrait donc être de 47 mètres, et de 25 mètres dans le canal central de la chaudière.

Ce fait, joint à tous ceux que nous avons signalés, fait voir de quelle manière les projets de M. Duvoir ont été étudiés.

Expériences de la sous-commission.

2794. La même sous-commission était chargée d'étudier les questions relatives à l'assainissement des cellules.

Les expériences ont été faites dans une cellule de la Conciergerie. L'un des membres de la sous-commission, M. Leblanc, y avait été renfermé avec les appareils nécessaires pour constater la composition de l'air et son état hygrométrique. Les jointures de la porte et de la fenêtre avaient été soigneusement calfeutrées ; l'air était chauffé extérieurement dans un petit calorifère, et versé dans la cellule par un orifice percé à peu près à un mètre de hauteur; l'air était appelé par un tuyau extérieur, dans lequel brûlaient plusieurs bougies; la partie inférieure de ce tuyau était garnie d'un registre au moyen duquel on réglait la ventilation; le tuyau d'appel communiquait avec la partie inférieure d'une chaise percée, dont le couvercle était garni d'un grand nombre d'ouvertures. La vitesse d'écoulement de l'air était mesurée par un anémomètre de M. Combes. Les expériences ont duré jusqu'à 10 heures consécutives. Voici les résultats de ces expériences :

2795. *Expulsion de l'odeur.* — « Les expériences répétées ont démontré qu'avec les dispositions adoptées, 6 mètres cubes d'air par heure étaient insuffisants pour maintenir l'atmosphère de la cellule exempte d'odeur désagréable. A cette dose de ventilation, l'acétate de plomb en dissolution, placé près du siége, manifestait bientôt la présence de l'acide sulfhydrique ou du sulfhydrate d'ammoniaque.

« Avec un renouvellement d'air de 10 mètres cubes par heure, la vitesse du courant a été suffisante pour s'opposer à la diffusion des odeurs dans l'enceinte, d'après le jugement des personnes douées d'organes délicats. L'air qui s'écoulait dans le tuyau d'appel était infect. Lorsque, sans interrompre la ventilation, on ouvrait le couvercle du coffre, une odeur prononcée ne tardait pas à se répandre dans la cellule, et il fallait environ vingt minutes de ventilation au même degré, après avoir fermé le couvercle, pour que l'odorat ne fût plus affecté d'une manière sensible. Nous avons reconnu qu'il était indispensable que le vase destiné à recevoir les déjections solides contînt 2 à 3 litres d'eau; les matières excrémentitielles, en tom-

bant dans le vase sec, répandent des exhalaisons si fortes, qu'une ventilation même plus active est insuffisante pour empêcher la transmission de l'odeur.

2796. *État chimique de l'air.* — « Avant la réclusion de l'observateur, la cellule avait été maintenue assez longtemps en communication avec l'air extérieur, pour que l'on pût considérer la pureté de l'air au commencement de l'expérience comme égale à celle de l'air normal.

« La réclusion a duré dix heures. Il faut noter comme source de production d'acide carbonique, la combustion d'une bougie pendant deux heures et demie après la fermeture de la porte.

« La ventilation, inférieure à 10 mètres cubes par heure pendant les deux premières heures du séjour, a été portée à 10 mètres cubes pendant le reste de la journée. L'appareil de chauffage a pu amener la température de la cellule de 3°,5 à 11°,5, et maintenir cette température pendant la plus grande partie de la journée. L'observateur n'a éprouvé ni gêne ni malaise; la sensation d'un léger dégoût, éprouvée pendant les deux premières heures du séjour, sous l'influence d'une ventilation insuffisante, s'était complétement effacée.

« Le dosage de l'acide carbonique dans l'air recueilli, exécuté par la méthode décrite par l'un de nous, a décelé, dans cet air, la présence de 33 dix-millièmes d'acide carbonique en poids. Cette proportion est plus que quintuple de celle qui existe dans l'air normal, d'après M. Boussingault.

« D'après la capacité de la cellule, il y avait donc dans l'enceinte, au moment de la prise d'air, 57 grammes d'acide carbonique, dont une partie devait avoir pour origine la combustion de la bougie ; le reste provenait de la respiration.

2797. « Ce résultat peut déjà faire juger de l'effet de la ventilation, qui aurait pu être plus complète. Pour mieux juger des effets produits, il faut comparer ce nombre à la quantité d'acide carbonique produit pendant le séjour. Or, les résultats d'une détermination de MM. Andral et Gavarret, sur la respiration de l'observateur, indiquent 31gr,46 d'acide carbonique produit par heure; pendant dix heures, la quantité devait donc être de 314 grammes. Il faut ajouter l'acide carbonique produit par la bougie pendant deux heures et demie, 20 grammes: en tout, 334 grammes. Sur cette quantité, 277 grammes seulement auraient été expulsés pendant la ventilation, pendant les dix heures qu'a duré l'expérience.

« L'analyse de l'air d'une pièce sensiblement de même capacité

que la cellule, fermée et non ventilée, et occupée pendant dix heures par le même observateur, a fourni un pour cent d'acide carbonique.

2798. *État hygrométrique.* — « Au commencement de l'expérience, l'air extérieur était à 2 degrés ; les observations du psychromètre ont donné 0,75 pour l'état hygrométrique : chaque mètre cube d'air contenait donc $4^{gr},2$ de vapeur aqueuse.

« Dans la cellule, l'état hygrométrique initial était de 0,80 à la température de $3^{\circ},5$; chaque mètre cube contenait donc $5^{gr},2$ de vapeur d'eau : au bout de quelques heures de faible ventilation, l'état hygrométrique était de 0,73 pour la température de 10 degrés. La quantité de vapeur aqueuse par mètre cube était donc de $7^{gr},3$. A la fin du jour, l'état hygrométrique était de 0,76 pour la température de $11^{\circ},5$, et la quantité de vapeur d'eau par mètre cube était de $7^{gr},9$.

« Ces résultats prouvent que l'état hygrométrique a peu varié dans l'intérieur de la cellule, sous l'influence de la ventilation, à raison de 10 mètres cubes par heure.

« En examinant de près ces résultats, et en remarquant que la température moyenne à l'extérieur est restée basse, on reconnaît facilement l'influence que la transpiration a exercée sur l'état hygrométrique de l'air. En effet, cet état aurait dû baisser ; la quantité de vapeur d'eau contenue dans l'air de la cellule, à la fin du séjour, aurait dû être presque moitié moindre de celle qui a été trouvée, en supposant la cellule vide et amenée, par la ventilation, à contenir de l'air au même état, à la température près, que l'air extérieur. C'est ce qui arriverait nécessairement dans les conditions que nous venons de supposer, et de plus dans l'hypothèse où l'enceinte aurait un pouvoir hygroscopique nul.

« Dans la cellule en expérience, dont les murs étaient peints à l'huile, les actions hygroscopiques paraissent avoir eu peu d'influence pour abaisser l'état hygrométrique du milieu, et compenser les effets de la transpiration.

« Il n'en est plus de même lorsque les parois sont boisées, lambrissées ou tendues de papier. L'un de nous ayant séjourné dans un cabinet fermé, de $13^{me},5$ de capacité, dont les parois étaient formées de châssis tendus de papier, n'a pu constater aucune variation dans l'état hygrométrique de l'air, pendant dix heures de séjour continu. La température était de $21^{\circ},5$ au commencement, et de $21^{\circ},8$ à la fin du séjour ; l'état hygrométrique initial était de 0,75, et n'a pas varié de 0,01. »

2799. Les conclusions du rapport sont : 1° que la ventilation doit être considérée comme le principal moyen d'assainissement ; 2° que le chiffre doit en être porté à 10 mètres cubes au moins, par prisonnier et par heure ; 3° que la température des cellules doit être maintenue à 15 degrés.

A la suite du rapport d'une autre sous-commission, qui avait été chargée d'examiner les différents systèmes de fosses d'aisances et de vidange, la commission générale a admis, comme la disposition la plus convenable dans le cas dont il s'agit, un siége fixe pour chaque cellule, avec un tuyau de descente servant à la ventilation.

2800. Dans le courant de 1849, M. le préfet du département de la Seine nomma une commission spéciale, à l'effet d'*examiner et de recevoir, s'il y avait lieu, les travaux et appareils de chauffage et de ventilation exécutés à la prison cellulaire Mazas, par M. Grouvelle.* Cette commission était composée ainsi qu'il suit : M. Peclet ; M. Thauvin, ingénieur ; M. Félix Leblanc ; MM. Lecointe, Gilbert, Bruzard et Jay, architectes, et M. Besuchet, inspecteur général des prisons.

Dans son rapport, cette commission rappelle d'abord les conditions imposées au constructeur par la commission nommée en 1843 par M. le préfet de la Seine et qui avait conclu à l'adoption du projet de M. Grouvelle, à la suite d'expériences par une sous-commission, en proposant : 1° que la ventilation ne fût pas inférieure à 10 mètres cubes par prisonnier et par heure ; 2° que la température fût maintenue constamment à 15 degrés. Ces conclusions adoptées par l'administration, sur le rapport du conseil général, ont été rendues obligatoires pour le constructeur.

Le rapport donne ensuite l'exposé du système de M. Grouvelle et les résultats obtenus :

Principe du chauffage. — « Le principe sur lequel repose le système de chauffage de M. Grouvelle est le chauffage de l'air par son contact avec des tuyaux à circulation d'eau chaude. Ce qui particularise ce système, c'est la transmission de la chaleur à l'aide de la vapeur partant de générateurs placés dans les caves, et se rendant dans des réservoirs d'eau placés à différents étages, et servant à la circulation.

« Dans ce système, la circulation d'eau chaude n'a lieu que sous une pression très-faible, et les divers étages d'un même bâtiment ne sont pas solidaires sous le rapport du chauffage, qui peut être interrompu pour un étage non occupé.

2801. *Ventilation.* — « La ventilation est produite par l'appel d'une vaste cheminée de 4 mètres carrés de section, et de 29 mètres de hauteur, placée au centre des bâtiments.

« L'air appelé dans l'intérieur des cellules, et destiné à la ventilation, est chauffé en hiver au contact des tuyaux à eaux chaude. La totalité de l'air expulsé des cellules par la ventilation descend par les tuyaux qui servent à l'écoulement des déjections des prisonniers. Chaque cellule renferme un siége terminé par un tuyau de descente qui se dirige vers la cave. La ventilation a pour but de maintenir pure l'atmosphère des cellules, en leur fournissant une quantité d'air extérieur suffisante pour remplacer celle qui est viciée par la respiration et les émanations du prisonnier; elle doit être assez grande pour s'opposer aux émanations du tuyau de descente.

2802. *Disposition des appareils dans les bâtiments.* — « Dans chaque bâtiment et le long du corridor, se trouvent, au premier et au deuxième étage, des balcons sur lesquels s'ouvrent les cellules. Au-dessous de ces balcons, placés à droite et à gauche, se trouvent des caniveaux dans lesquels des tuyaux en fonte forment deux circuits parallèles que l'eau chaude parcourt en sens contraires, afin que sur chaque point la température soit à peu près constante. Pour le rez-de-chaussée, ces tuyaux sont placés dans un canal situé au-dessous du sol du corridor et toujours au pied des cellules. Les caniveaux sont séparés, dans la direction des murs des cellules, par des cloisons transversales. Chacun de ces intervalles communiquait primitivement avec l'atmosphère par un canal creusé dans le sol de la cellule; depuis, comme nous le dirons plus loin, cette disposition a été remplacée par des communications avec l'air du corridor. Ces mêmes espaces communiquent avec les cellules par un canal qui se termine par plusieurs grilles.

« Chaque circuit de tuyaux à eau chaude communique avec un réservoir dans lequel l'eau est chauffée par la condensation de la vapeur qui circule dans un serpentin. Six chaudières peuvent fournir la vapeur à tous les réservoirs au moyen d'une conduite générale.

« Dans chaque cellule se trouve un siége d'aisance composé d'une cuvette en fonte et d'un tuyau de descente aboutissant à un tonneau de vidange. Tous les tonneaux d'un même bâtiment sont rangés dans une galerie souterraine ayant toute la longueur du corridor sur lequel s'ouvrent les cellules.

« Les six galeries souterraines aboutissent, par leurs extrémités les plus rapprochées, à un canal commun, annulaire, en communi-

cation avec la cheminée d'appel. Les autres extrémités des galeries communiquent avec l'extérieur, mais elles sont fermées par de doubles portes parfaitement closes et peuvent livrer passage à un chariot roulant sur un chemin de fer destiné au transport des tonneaux.

« Il résulte des dispositions que nous venons d'indiquer, que l'eau des réservoirs étant chauffée par la vapeur circulant dans les serpentins, il s'établit, en vertu de l'inégalité de température, une circulation entre les réservoirs et les tuyaux qui partent de ces réservoirs et longent les cellules. La circulation s'établit d'une manière continue, car l'eau des tuyaux se refroidit constamment et revient s'échauffer dans les réservoirs. Le foyer de la cheminée d'appel, placé dans les caves, étant constamment allumé, il en résulte un appel de l'air des cellules à travers les tuyaux de descente. Cet air traverse les galeries souterraines et gagne le foyer d'appel. Les portes de ces galeries fermant bien, il ne peut y avoir appel direct de l'air extérieur. A mesure que l'air sort des cellules, il est remplacé par de l'air venant des corridors et échauffé par son contact avec les tuyaux de circulation d'eau chaude.

2803. *Dispositions employées pour régler la ventilation des cellules.* — « Pour régler la ventilation des cellules, on a garni le tuyau de descente, dont l'extrémité inférieure plonge dans un tonneau fermé, d'un embranchement latéral dont l'extrémité est fermée par un tampon garni d'un orifice dont la section peut être réduite à volonté au moyen d'une plaque tournante.

2804. *Systèmes des expériences employées pour vérifier le chauffage et la ventilation.* — « Pour mesurer la température des cellules, on s'est servi d'une centaine de thermomètres, préalablement comparés entre eux, et assez sensibles pour donner des indications exactes à un quart de degré centigrade au moins. Chacun de ces thermomètres a été placé à $1^{m},50$ de hauteur, à partir du sol de la cellule, et dans une position semblable dans chaque cellule. On a opéré successivement sur tous les points des bâtiments, en faisant chaque fois un grand nombre d'observations simultanées.

« La ventilation a été mesurée au moyen d'anémomètres de M. Combes, construits par M. Newmann. Pour mesurer les courants d'air dans le canal de ceinture qui aboutit à la cheminée d'appel, on s'est servi d'un anémomètre ordinaire, sensible à une vitesse de $0^{m},12$ par seconde. Mais pour la ventilation des cellules mêmes, on a eu recours à un instrument plus sensible, construit exprès pour cet objet, et gradué lorsqu'il était placé dans le tuyau même où il

devait fonctionner; ce tuyau était un cylindre de 0m,12 de diamètre, terminé inférieurement par un cône, dont la base munie d'un rebord et d'une bande de drap s'appliquait exactement sur les bords de l'ouverture du siége. Cet anémomètre était sensible à une vitesse de 0m,08 par seconde. Pour mesurer la ventilation d'un corps de bâtiment tout entier, l'anémomètre ordinaire était placé successivement sur plusieurs points de la section du canal de communication des caveaux avec le foyer, afin d'obtenir la vitesse moyenne du courant.

2805. « Les expériences sur le chauffage et la ventilation ont été faites par une sous-commission composée de MM. Peclet, Leblanc et Thauvin, ingénieur civil, adjoint à la commission par décision administrative et sur la proposition des membres de la commission générale, mais les expériences ont été répétées et suivies plus spécialement par M. Thauvin. Ces expériences ont duré avec la régularité nécessaire depuis le 14 février 1850 jusqu'à ce jour (30 avril 1851). Il y a eu continuité dans les observations toutes les fois qu'il a été nécessaire de constater un fait important. Toutes ces expériences sont consignées, par ordre de dates, sur un registre que la commission tient à la disposition de l'administration. Ce registre a servi à relever un certain nombre de tableaux, qui résument les expériences les plus significatives pour le chauffage et la ventilation, et que nous joignons à ce rapport comme pièces justificatives.

2806. « Ainsi que nous avons déjà eu l'honneur de vous l'écrire, Monsieur le préfet, les résultats ont été aussi réguliers qu'on pouvait le désirer pour le chauffage des différents étages. Nous avons reconnu également que la cheminée de ventilation avait une puissance bien supérieure à celle qui était exigée, attendu qu'elle s'est élevée à 30,000 mètres cubes par heure, ce qui correspond à un renouvellement moyen d'air de 25 mètres cubes par cellule et par heure, au lieu de 10 mètres cubes, limite inférieure reconnue par le cahier des charges. Nous avons reconnu de plus qu'au moyen de registres placés dans les conduits des souterrains à la cheminée d'appel, on pouvait répartir la ventilation générale, de manière à la rendre sensiblement égale pour les six bâtiments. Les analyses de l'air provenant de deux cellules habitées, appartenant à deux étages d'un même bâtiment et ventilées à raison de 25 mètres cubes par heure, ont démontré que la proportion d'acide carbonique produite par la respiration ne dépassait pas un millième. Ces résultats ont été communiqués à la commission d'hygiène.

2807. « Dans la disposition primitive, les prises d'air avaient lieu par des orifices percés sur les faces extérieures des bâtiments, et nous avons reconnu que le chauffage et la ventilation éprouvaient des variations notables par l'influence des vents et du soleil ; souvent l'air, échauffé dans les caniveaux renfermant les tuyaux de circulation de l'eau, sortait par les orifices des prises d'air : c'était alors l'air des corridors qui pénétrait par-dessous la porte et produisait la ventilation des cellules. D'après l'avis que nous avons émis dans notre lettre du 15 avril 1850, vous avez autorisé, Monsieur le préfet, le changement proposé par M. Grouvelle, qui consistait à prendre l'air dans les corridors et à alimenter chacun d'eux par une prise d'air spéciale. Depuis cette époque, les expériences ont été répétées dans tous les bâtiments, à mesure que chaque changement était effectué. Toutes ces expériences ont constaté les avantages de cette nouvelle disposition.

2808. « Ainsi, dans l'état actuel des choses, la température a été maintenue, pendant l'hiver, entre 13 et 16 degrés, dans tous les bâtiments occupés, sauf pendant quelques interruptions accidentelles et momentanées dans le chauffage. Nous ferons remarquer que la température aurait pu être maintenue à un degré plus élevé, ainsi qu'on s'en est assuré, mais ces limites avaient été fixées par la commission d'hygiène nommée par M. le préfet de police. Les résultats de nos expériences se trouvent confirmés par les chiffres consignés dans les rapports fournis par M. le directeur de la prison, qui a fait relever journellement sur tous les points la température des cellules.

« Quant à la ventilation, depuis que les appareils de vidange définitifs ont été installés avec les moyens de règlement que nous avons décrits plus haut, elle est devenue suffisamment régulière pour les différentes cellules des six bâtiments, et à tous les étages. Nous avons constaté que cette ventilation demeurait généralement comprise entre 15 et 25 mètres cubes par cellule et par heure.

« Quoique les expériences aient été faites pendant un hiver peu rigoureux, elles n'en sont pas moins concluantes relativement à la ventilation ; car, toutes choses égales d'ailleurs, la puissance d'une cheminée d'appel tend à augmenter lorsque la température de l'air extérieur s'abaisse. En outre, les expériences ont démontré que, dans les circonstances les plus défavorables, il était possible de réaliser encore une ventilation de 30000 mètres cubes d'air par heure. correspondant en moyenne à 25 mètres cubes d'air par cellule.

2809. « Relativement au chauffage, la considération du peu de rigueur de la température de l'hiver serait de nature à faire ajourner une conclusion positive, relativement à la puissance des appareils de chauffage, si la totalité des chaudières à vapeur avait fonctionné pendant l'hiver dernier; mais comme sur les six chaudières qui existent dans les caves, quatre seulement ont été chauffées, et seulement pendant douze heures au plus chaque jour, nous regardons comme évidente la possibilité de maintenir la température voulue dans les cellules, pendant les plus grands froids, en chauffant les quatre générateurs d'une manière continue, d'autant plus que la grande quantité de chaleur renfermée dans les murailles tend à maintenir l'uniformité de température. D'ailleurs, pour les cas extrêmes, les chaudières construites comme appareils de rechange pourraient servir momentanément d'auxiliaires à celles qui fonctionnent d'une manière continue.

« Quant à la construction des appareils, tout ce que nous avons pu voir et examiner nous a paru bien établi ; mais il est difficile d'en juger d'une manière certaine après la pose, comme nous avons été appelés à le faire ; nous devons ajouter qu'à l'origine, il s'est manifesté quelques fuites dans les tuyaux à eau chaude, mais elles ont été promptement fermées, et maintenant il n'en existe plus.

« D'après toutes les considérations que nous avons eu l'honneur de vous exposer, Monsieur le préfet, la commission est d'avis de recevoir les appareils de chauffage et de ventilation établis à la prison Mazas par M. Grouvelle. » Suivent les signatures de tous les membres de la commission.

2810. *Analyse des tableaux annexés au rapport de la commission de réception des appareils.* — Ces tableaux, quoique déjà des résumés des registres d'expériences, sont encore trop étendus pour être insérés ici, nous nous contenterons de rapporter les principaux faits qu'ils constatent.

2811. *Tableaux A et B.* — Ces tableaux ont pour objet de faire voir quelle a été l'élévation progressive et le maximum de température obtenue dans les cellules par un chauffage continu, pendant l'hiver 1850. Les expériences ont eu lieu dans le bâtiment n° 6, qui était alors seul chauffé. Elles ont duré douze jours consécutifs, du 14 au 25 février 1850. Pendant tout ce temps on a chauffé jour et nuit sans interruption, et la pression de la vapeur a été constamment maintenue entre les limites 2 à 3 atmosphères. Chaque jour on a fait une ou deux fois l'inspection des thermomètres placés au hasard

dans 68 cellules du rez-de-chaussée et du premier étage. Toutes les expériences ont été faites dans des cellules inhabitées, car à cette époque la prison n'était pas encore occupée. A cette époque les prises d'air étaient extérieures. Voici les résultats moyens des 960 observations consignées dans ces tableaux ; les observations ont été faites dans 17 cellules de chaque étage et de chaque côté, à dix heures du matin et à quatre heures du soir.

REZ-DE-CHAUSSÉE. — TEMPÉRATURES MOYENNES DES CELLULES.

Côté gauche :

13,58—15,08—15,83—16,67—18,17—18,27—18,07—18,85—19,25—19,10—19,70—19,50

Côté droit :

15,50—17,02—17,93—17,68—19,25—19,06—20,56—20,55—20,73—19,42—20,85—20,72

PREMIER ÉTAGE. — TEMPÉRATURES MOYENNES DES CELLULES.

Côté gauche :

14,83—17,00—17,91—18,40—19,46—20,13— » —20,15—20,25—20,18—20,80—20,94

Côté droit :

16,88—19,12—19,37—19,23—20,47—20,21—22,05—21,67—21,39—21,72—22,64—23,31

Le même jour à la même heure, les températures d'une même rangée de cellules différaient très-peu les unes des autres.

Il résulte de ces expériences que par un chauffage continu d'un petit nombre de jours, on a élevé la température des cellules du rez-de-chaussée à 19° 50 et 20° 72, et pour le premier étage à 20° 94 et 20° 31. Les différences qu'on observe entre les cellules du rez-de-chaussée et celles du premier étage proviennent de ce que, pour les premières il y a une perte de chaleur par le sol qui n'existe pas pour les secondes. Les différences entre le côté droit et le côté gauche proviennent de l'orientation du bâtiment. La température moyenne extérieure pendant la durée des expériences a été de 7° 5.

2812. *Tableau C.* — Ce tableau contient les résultats des expériences faites dans les caves de ventilation qui correspondent à chaque bâtiment, dans le courant de l'hiver 1849-1850. Il résulte de ces expériences que pour une consommation de $13^k,50$ de houille, par heure, dans le foyer d'appel, on a expulsé 14800 mètres cubes d'air par heure ; que pour une consommation de $22^k,33$ de houille dans le même temps, la ventilation s'est élevée à 24700 et 30900 mètres cubes ; que pendant l'été 1850, à l'époque des plus grandes chaleurs, pour une consommation de 20 kilogrammes de houille à l'heure, la ventilation a varié de 22900 à 25000.

2813. *Tableau D.* — Ce tableau renferme les résultats des expériences de ventilation générale faites dans le courant de l'hiver 1850-1851, dans les mêmes circonstances que l'hiver précédent. Il résulte de ces expériences : 1° que la ventilation s'est élevée à 29200 mètres cubes avec une dépense de 20 kilogrammes de houille à l'heure dans le foyer d'appel ; 2° que l'échauffement de la cheminée des générateurs n'a que très-peu d'influence sur la ventilation générale, car après une interruption de chauffage de vingt-quatre heures, la ventilation a été de 28200 mètres cubes au lieu de 29200, c'est-à-dire moindre seulement de 1 : 29 de ce qu'elle était la veille quand les chaudières étaient en activité ; 3° qu'en réduisant la consommation du foyer d'appel de 20 kilogrammes à 15 kilogrammes par heure, la ventilation n'a pas sensiblement diminué, puisqu'on la trouve comprise entre 28100 et 31500 mètres cubes ; 4° que l'activité du foyer d'appel n'a pas une influence immédiate sur la ventilation, et que pour des variations assez grandes dans l'activité de la combustion il ne se produit que de faibles différences dans la ventilation, car en laissant tomber le feu presque complétement, on a eu pour la ventilation à deux heures d'intervalle 25800 et 24700 mètres cubes par heure ; 5° qu'en éteignant complétement le feu du foyer d'appel, en retirant le charbon et laissant passer l'air froid par la porte et la grille pour refroidir davantage le fourneau, on a encore obtenu 21500 mètres cubes de ventilation par heure, une demi-heure après l'extinction du feu, et 16500 mètres cubes une heure et demie après. La faible influence de la cheminée des générateurs provient de ce que la fumée n'y arrive qu'à une température peu élevée à cause du refroidissement qu'elle éprouve en circulant sous les plaques de fonte de la galerie centrale. L'influence également très-faible d'une variation de consommation de combustible dans le foyer d'appel, et dans l'activité du foyer, provient de ce que le tirage d'une cheminée varie très-peu par des accroissements même très-grands de température de l'air. Enfin le faible décroissement de tirage après l'extinction du foyer, provient de la chaleur renfermée dans la maçonnerie et de l'excès de la température des bâtiments sur la température extérieure.

2814. *Tableaux E et F.* — Ces tableaux renferment les résultats des expériences faites sur la température des cellules pendant l'hiver 1850-1851, dans les six bâtiments, pendant le mois de décembre 1850, tous les jours, et à différents moments de la journée, dans les mois de janvier, février et mars 1851. Ces tableaux, qui contien-

nent plus de 1400 indications de température, constatent qu'au même instant les températures des différentes cellules et des corridors ont toujours été comprises entre 13 et 16 degrés. Voici du reste les températures moyennes des six bâtiments pendant le mois de décembre.

	BATIMENT					
	N° 1.	N° 2.	N° 3.	N° 4.	N° 5.	N° 6.
Corridor du rez-de-chaussée..	15,83	15,05	14,48	»	13,01	14,12
Cellules du rez-de-chaussée...	15,74	14,09	15,56	»	14,25	13,11
— du premier étage.....	13,97	14,28	14,76	»	14,87	14,56
— du deuxième étage...	12,19	15,78	14,44	»	14,89	13,98
Corridor du deuxième étage...	13,18	15,58	14,57	»	14,72	13,59

On n'a point indiqué les températures du quatrième bâtiment, parce qu'il avait été chauffé trop tard et que le régime n'y était pas établi. Pour les six bâtiments, il n'y a que le deuxième étage du premier, dans lequel la température n'a pas été tout à fait suffisante ; mais cela tient à ce qu'à cette époque on ne pouvait chauffer que la circulation du rez-de-chaussée. La température moyenne extérieure du mois de décembre a été de 3° 89. Les températures des corridors et des cellules pendant les mois de janvier, février et mars suivants, ont été comprises entre 13,50 et 16 degrés.

2815. *Tableaux G et H.* — Ces tableaux contiennent les consommations de combustible pour le chauffage et la ventilation pendant l'hiver 1850-1851. Il résulte de ces tableaux :

1° Que, pour les bâtiments dans lesquels les prises d'air étaient ouvertes sur le corridor, la consommation de combustible pour le chauffage a été de 400 kilogrammes par bâtiment et par jour, pour obtenir une température moyenne intérieure de 15° 15, avec une température extérieure de 3° 89, et par conséquent par un excès de 11° 25 ; 2° que, pour les bâtiments dont les prises d'air étaient extérieures, la consommation moyenne par bâtiment et par jour a été de 500 kilogrammes pour obtenir une température moyenne intérieure moins élevée de près de 1 degré ; 3° que la consommation moyenne de combustible pour le chauffage de l'administration a été de 150 kilogrammes par jour pour les mêmes circonstances atmosphériques.

Quant à la ventilation, la dépense moyenne de combustible est de 350 kilogrammes par jour d'hiver, et de 400 kilogrammes par jour

pour le reste de l'année ; mais, pour obtenir une ventilation de 30000 mètres cubes par heure, la consommation de combustible est de 20 kilogrammes par heure en hiver, et de 25 kilogrammes en été.

2816. D'après des renseignements authentiques, les consommations de combustible, dans les années 1851, 1852, 1853, 1854, ont été :

Pour le chauffage.....	420456^k	440298^k	396424^k	395309^k
Pour la ventilation.....	164980	168540	162538	169986
Pour les bains.....	39980	51162	41038	40705

Les consommations moyennes pour ces trois services ont été de 413122 kilogrammes ; 164911 kilogrammes ; 43429 kilogrammes, et la consommation totale de 621429 kilogrammes. Le prix de la houille ayant été pendant les deux premières années de 35 francs les 1000 kilogrammes, et de 41 francs pendant les deux dernières, la dépense moyenne pour le chauffage a été de 15698^f,64 ; pour la ventilation, de 6266^f,60, et pour les bains, de 1565^f,25 ; et, en y joignant 5669 francs pour main-d'œuvre, la dépense totale s'est élevée à 89199^f,50, et par suite la dépense moyenne de chauffage et de ventilation a été par détenu, pour une année, de 23^f,34, et la dépense de ventilation seulement de 5^f,22.

La consommation moyenne de houille par jour, pour la ventilation, ayant été pendant ces trois exercices de 19 kilogrammes, tandis que la consommation moyenne pendant les expériences s'est élevée à 22^k,50, il s'ensuit que la ventilation, pendant ces trois années, a dû être inférieure à 30000 mètres cubes. Comme les vitesses d'accès dans la cheminée d'appel sont sensiblement proportionnelles aux racines carrées des excès de température et que les excès de température sont proportionnels aux quantités de combustible consommé, on trouve que, pendant ces trois années, la ventilation par cellule et par heure a dû être de 22 mètres cubes, et que les consommations moyennes par jour d'été et par jour d'hiver n'ont pas dû dépasser 21^k,11 et 16^k,89.

2817. *Conséquences des faits observés.* — En admettant une consommation de 20 kilogrammes de houille par heure pour une ventilation totale de 30000 mètres cubes d'air par heure, et une température moyenne extérieure de 6 degrés, l'accroissement de température de l'air dans la cheminée sera sensiblement donné par l'équation,

$$20 \,.\, 8000 = 30000 \,.\, 1{,}3 \,.\, 0{,}24 \,.\, x$$

d'où l'on tire $x = 17°$; la température de cet air sera alors $17 + 14 = 31°$, et son excès de température sur l'air extérieur de $31 - 5 = 25°$. Je n'ai point égard à l'échauffement de l'air par le tuyau à fumée des générateurs, parce que l'influence de cet échauffement est très-faible, comme le constatent les expériences du tableau D, citées plus haut. La hauteur de la cheminée étant de 29 mètres, la vitesse théorique d'accès de l'air sera

$$v = \frac{0,268}{1 + at}\sqrt{H(t - \theta)(1 + a\theta)} = \frac{0,268}{1 + 0,00365 \,.\, 31}\sqrt{29 \,.\, 25 \,.\, (1 + 0,00365 \,.\, 6)} = 6,64.$$

Or, la cheminée est cylindrique, de $2^m,25$ de diamètre et $3^m,62$ de section ; et, comme elle renferme le tuyau à fumée des calorifères, qui a $0^m,80$ de diamètre et $0^m,50$ de section, il s'ensuit que la section du canal, par lequel s'écoule l'air de ventilation, est réduite à $3^m,62 - 0^m,50 = 3^m,12$. La cheminée évacuant 30000 mètres cubes d'air par heure, ou $8^{mc},33$ par seconde, la vitesse d'accès sera de $8,33 : 3,12 = 2^m,67$. Ainsi, la vitesse réelle n'est que de $2,67 : 6,64, = 0,40$ de la vitesse théorique, et par conséquent le travail réel n'est que $(0,40)^2 = 0,16$ du travail que produirait la cheminée, s'il n'y avait pas de résistance dans tout le parcours de l'air depuis les orifices d'accès de l'air extérieur jusqu'au sommet de la cheminée. Remarquons maintenant qu'en désignant par V la vitesse due à la charge, par v la vitesse réelle, par m la somme totale des résistances, on a

$$v = V\sqrt{\frac{1}{1 + m}}; \quad \text{d'où} \quad \left(\frac{v}{V}\right)^2 = \frac{1}{1 + m}; \quad \text{et} \quad m = 5,25.$$

Or, dans le trajet de l'air, il y a trois renflements : à l'entrée dans les galeries, dans les cellules et dans les caveaux où se trouvent les tonnes de vidange, et trois changements de direction à angle droit, deux dans le canal qui amène l'air dans les cellules et un à l'entrée de l'air dans la cheminée d'appel, qui produisent une perte de charge égale à 4,50 (462) (437) ; ainsi il ne reste que 0,75 pour les frottements.

2818. La surface totale des murailles exposées au contact de l'air est à très-peu près de 13000 mètres carrés, non compris les surfaces des voûtes et du sol, qui transmettent fort peu de chaleur ; leur épaisseur est de $0^m,60$. La surface totale des vitres est de 2173 mètres carrés. En admettant le nombre 15 (993) pour la quan-

tité de chaleur transmise par mètre carré de murailles et par heure, et 23 (998) pour la transmission des vitres dans les mêmes circonstances, la quantité totale de chaleur perdue moyennement par les vitres et les murailles sera 13000.15 + 2,173. 23 = 244979. Pour obtenir la quantité totale de chaleur fournie par les calorifères, il faut, à cette quantité de chaleur, ajouter celle qui est nécessaire pour élever 27,000 mètres cubes d'air de 6 degrés à 14, puisque l'air des cellules a 14 degrés, quantité qui est égale à 27000. 1, 3 . 8 . 0,24 = 67392, et en retrancher la chaleur produite par les détenus, qui est égale à 40 . 1225 = 49000. On trouve ainsi, pour la quantité de chaleur fournie par la vapeur, 244979 + 67392 — 49000 = 263371. En admettant que chaque kilogramme de vapeur ait fourni 600 unités de chaleur, la quantité de vapeur moyenne condensée par heure serait de 439 kilogrammes. Pendant les trois années de chauffage de 1851 à 1854, la consommation moyenne pour le chauffage a été de 413122 kilogrammes, et par heure moyenne de 413122 : (210 . 24) = 82^{k} ; pour que cette consommation produisît les 439 kilogrammes de vapeur, il faudrait admettre que chaque kilogramme de houille a produit 5^{k},35 de vapeur ; or, il résulte d'une note lithographiée, adressée par M. Grouvelle à M. le préfet de la Seine, que les premières chaudières établies à Mazas avaient des dimensions trop petites, que les ordonnances ne permettaient pas de dépasser, et ne produisaient que 4^{k},48 de vapeur par kilogramme de houille, et que les nouvelles, plus puissantes, qui ont été ajoutées aux premières, produisent 6^{k},49. Ainsi la production de la vapeur a varié entre ces deux nombres, dont la moyenne diffère peu du nombre indiqué par le calcul.

2819. *Description de la prison Mazas.* — La figure 682 représente le plan des bâtiments au niveau du sol.

A, entrée.
B, cour de l'administration.
C, corps de garde.
D,D, magasins.
E, salle des morts.
F, cuisine.
G, passage du greffe.
H, greffe.
I,I, salle des fouilleuses.
J,J, salles provisoires de dépôt.
J′, panneterie.

K, cabinet du directeur.

K′,K′,K′, chemin de ronde.

L, salle centrale au milieu de laquelle se trouve le bureau du surveillant ; au-dessus du bureau du surveillant se trouve l'autel. De

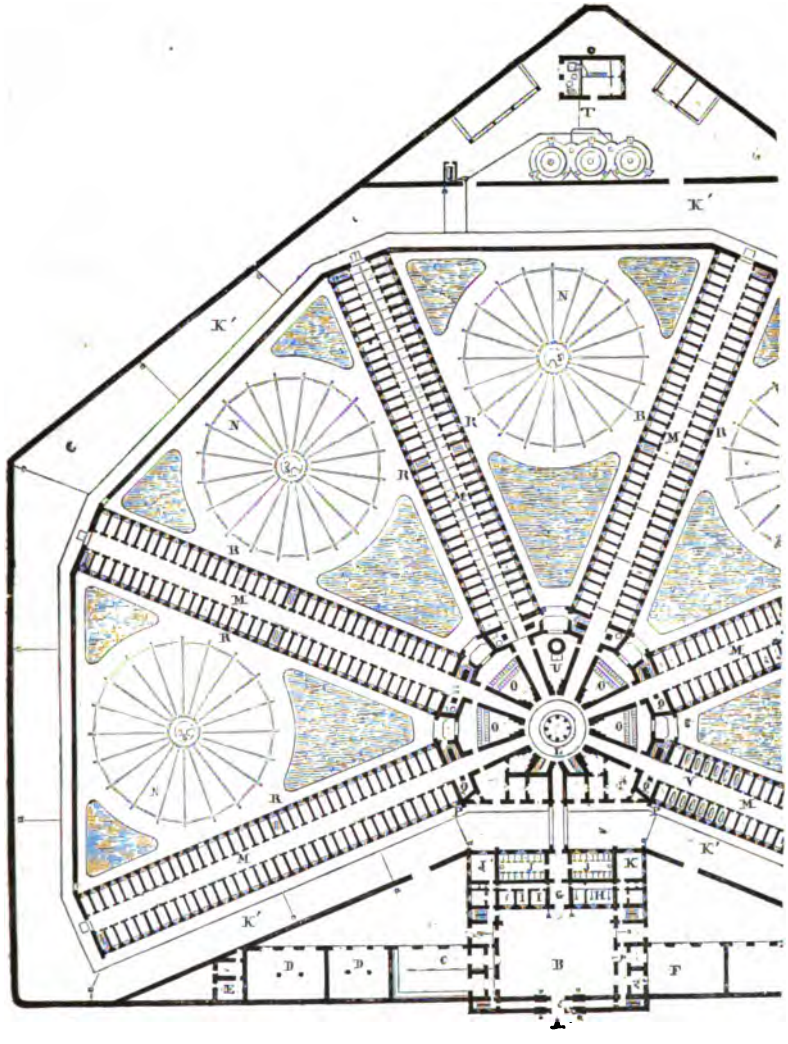


Fig. 682.

cette salle centrale partent six corps de bâtiments M,M,M,.., séparés en deux parties égales par un corridor qui s'élève jusqu'à la toiture, il est éclairé par la partie supérieure et par un immense vitrage

qui le termine. De chaque côté du corridor, le rez-de-chaussée, le premier et le deuxième étage des bâtiments sont divisés en cellules; celles du premier et du deuxième étage sont desservies par un balcon qui règne dans toute la longueur des bâtiments. Les balustrades en fer des balcons opposés servent de rails à un chariot contenant les rations des prisonniers, que les gardiens distribuent aux détenus. Les chariots sont chargés à la cuisine, un chemin de fer les conduit à la descente des caves P, où ils sont reçus sur un autre chemin de fer; des treuils, disposés dans chaque aile en Q, enlèvent les chariots à la hauteur de l'étage où la distribution doit être faite. Ce service dure trois minutes. Pendant le service divin les portes des cellules sont entr'ouvertes à peu près de $0^m,06$, de manière que les détenus puissent voir le prêtre à l'autel sans se voir ni communiquer entre eux.

O,O..., parloirs ; chaque détenu et chaque visiteur a son cabinet.

P, descente du passage des vivres.

Q, passage dans l'épaisseur des voûtes pour les chariots de vivres.

N..., préaux cellulaires des prisonniers; ils y descendent un à un par les escaliers R, et sont dirigés du centre S dans chaque petite cour; la partie centrale est occupée par une petite cour dans laquelle se tient le surveillant; l'extrémité de chaque cour, la plus éloignée du centre, est couverte de manière à présenter un abri au prisonnier.

T, usine à gaz.

U, cheminée générale de ventilation.

V, cellules de bains.

L'infirmerie se trouve dans le premier bâtiment de droite au premier étage ; chaque malade a une cellule double.

2820. La figure 683 représente la coupe verticale d'un des bâtiments cellulaires. Chaque cellule a $3^m,75$ de longueur, 2 mètres de largeur et 3 mètres de hauteur; chacune renferme un bec de gaz et une cuvette d'aisances C, dont le tuyau de descente sert à l'écoulement de l'air de ventilation dans une cave qui communique avec la grande cheminée d'appel; l'air passe entre le couvercle et les bords de la cuvette.

A et B sont deux tuyaux de fonte horizontaux parcourus en sens contraire par de l'eau chaude; ils sont placés dans un canal situé au-dessous du balcon et fermés par une cloison en plâtre; ce canal est interrompu par des cloisons transversales placées dans les axes

des murs de séparation des cellules; l'air du corridor s'introduit dans le canal par des orifices percés dans la cloison en plâtre et pénètre dans chaque cellule par les orifices D fermés par des plaques de fonte à jour,

E, fenêtres des cellules.

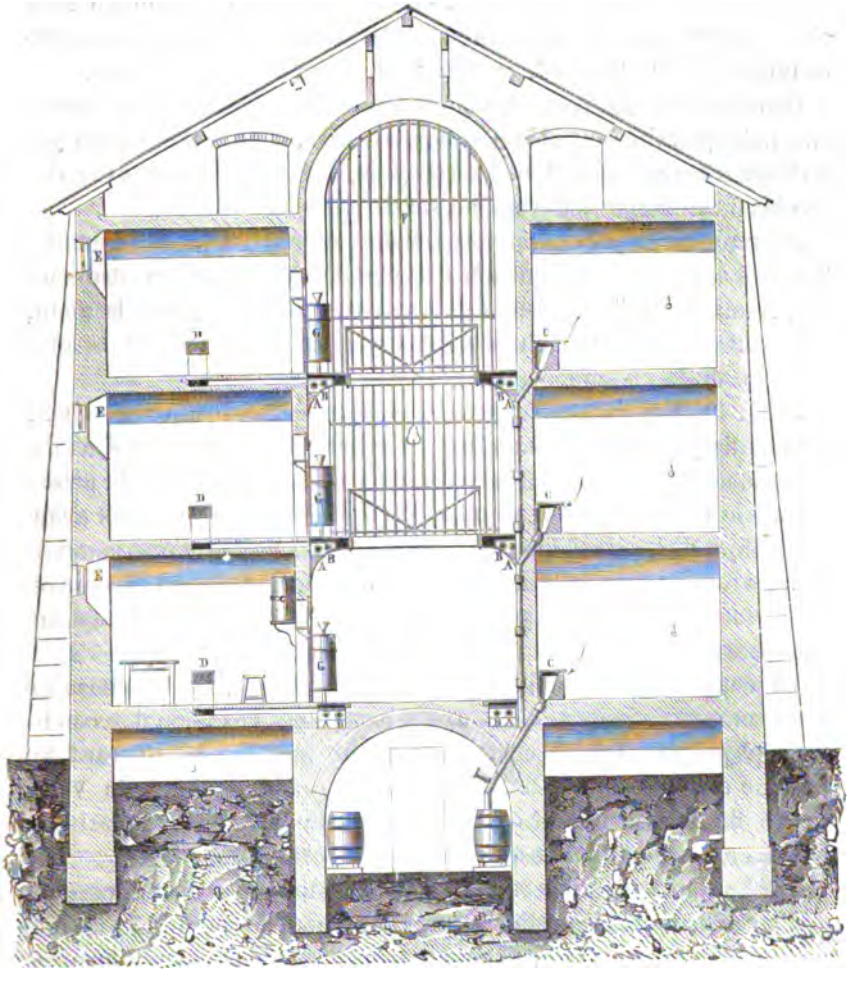


Fig. 683.

G, fenêtre grillée qui ferme l'extrémité du corridor.

G, vases d'expansion des circulations d'eau.

Le tuyau d'écoulement de l'air fixé latéralement à l'extrémité de chaque tuyau de descente est en zinc; il a $0^{m},45$ de longueur et

0m,10 de diamètre ; il est garni à son extrémité d'une étoile en cuivre, destinée à régler la ventilation ; l'ajutage est garni d'un chapeau en zinc qui le recouvre et laisse autour du tuyau un espace annulaire libre de 0m,025 ; le fond du chapeau est garni de foin ; les changements de direction que l'air éprouve pour sortir arrêtent le son, ou du moins le rendent tellement confus, qu'aucune communication n'est possible par la voix entre les détenus. Cette disposition a été imaginée par M. Bruzard, architecte de la préfecture de police.

Dans les caveaux renfermant les tonnes de vidange, il se forme une telle quantité de toiles d'araignées, surtout près des tuyaux intérieurs d'aérage, que, tous les six mois, il faut les brûler avec des torches ; un simple balayage ne serait pas suffisant.

Pour régler la ventilation des cellules, on règle d'abord la ventilation des ailes sur celle qui offre le plus de résistance en abaissant progressivement les registres des autres, l'anémomètre à la main, puis celle des cellules d'une même aile sur celle qui est la plus éloignée de la cheminée et la plus élevée.

2821. *Résumé des rapports faits par diverses commissions.* — Dans le mois de juin 1850, à la suite d'un article du journal *le Siècle*, qui renfermait des plaintes très-vives de certains détenus de la prison Mazas, le Préfet de police nomma, le 25 juin, une commission ayant pour objet d'examiner l'état sanitaire de cette prison. Cette commission était composée de MM. Thierry, Guérard, Paillard de Villeneuve, Besuchet de Saunois, Beguin, Boutron, Bruzard, et Perrée, gérant du *Siècle*.

La commission nommée par M. le Préfet de police se divisa en deux sous-commissions, l'une ayant pour objet l'examen des conditions physiques, l'autre celui de la partie morale ; M. Guérard fut désigné comme rapporteur de la première, et M. Paillard de Villeneuve de la seconde. Nous extrairons de ces deux rapports les passages qui nous paraissent les plus importants.

2822. Dans le premier rapport, on constate le mouvement régulier de l'air dans toutes les cellules, une ventilation variant de 10 à 30 mètres cubes par heure pour chacune, mais il se produit des influences perturbatrices dues à l'action du soleil ou des vents ; quelques changements de détail ont fait disparaître ces influences et la ventilation s'est trouvée régulière de façon à être comprise entre 13 et 22 mètres. On a pu constater qu'avec une ventilation de 10 mètres cubes les détenus avaient pu se trouver incommodés.

Enfin on a pu constater que l'ouverture des fenêtres avait, dans

certains cas, produit un appel en sens contraire, et que l'air remontait par le siége d'aisances avec une rapidité très-grande. Dans de certains malaises accusés par quelques prévenus soumis à une ventilation convenable, on a reconnu qu'ils étaient la conséquence de dispositions maladives spéciales.

Le second rapport constatait que dans le cas de plaintes présentées par les détenus, on avait pu constater qu'ils avaient eux-mêmes bouché les ventilateurs.

La commission était enfin unanime pour déclarer que les conditions hygiéniques obtenues étaient satisfaisantes.

2823. On a pensé longtemps que, pour que le système de ventilation fonctionnât régulièrement, il fallait que toutes les fenêtres des cellules fussent hermétiquement closes. Mais les plaintes de quelques détenus, qui disaient manquer d'air pendant les chaleurs de l'été, appelèrent l'attention de la commission sanitaire. Il fut reconnu que dans les cellules d'où étaient sorties ces plaintes il y avait 25 et 30 mètres cubes de ventilation par heure, et que cependant des indispositions sérieuses avaient été réellement constatées.

On avait attribué ces faits à l'élévation de la température dans la cellule, mais il est facile de voir que, pour que cette cause fût la véritable, l'air aurait dû entrer beaucoup trop chaud. Il est probable que ces indispositions tiennent à des phénomènes qu'il est difficile d'expliquer scientifiquement, mais dont l'action sur l'organisme est telle que pour une longue détention rien ne peut remplacer l'influence de l'air chauffé directement par le soleil. Il faut en outre remarquer que certaines personnes douées d'organisations délicates croient manquer d'air lorsqu'elles se trouvent dans une enceinte où il y a simultanément une température élevée et une aspiration d'air.

On essaya d'entr'ouvrir les fenêtres des détenus qui souffraient, et à l'instant les plaintes et les indispositions cessèrent. Il fallut alors donner à tous les détenus la faculté d'ouvrir à volonté leur fenêtre sans troubler la ventilation. MM. Gilbert et Lecointe, architectes de la prison, firent préparer 1225 tampons mobiles ; on en donna un à chaque détenu avec ordre de le placer sur la lunette de son siége d'aisances quand il ouvrirait sa fenêtre. Ce système, essayé sur une aile, puis appliqué à toute la prison, a donné de bons résultats. Les fenêtres sont à la disposition entière des détenus.

2824. Les dispositions que nous avons décrites ont subsisté à Mazas jusqu'en ces dernières années, où il devint nécessaire de

songer à leur réfection. M. d'Hamelincourt, ancien élève de l'école centrale, fut chargé, après concours, de ce travail.

Les dispositions générales de l'ancien système ont subsisté en ce qui concerne la canalisation nécessaire à la ventilation, mais deux modifications principales sont intervenues, à savoir : la substitution du chauffage à vapeur au chauffage à l'eau chaude et l'emploi d'un appareil mécanique pour produire l'appel.

On a conservé, en les réparant, les cinq chaudières à vapeur existantes ; ces chaudières sont placées dans les caves, au-dessous de trois des parloirs marqués O (*fig.* 690) ; de chaque chaudière part un tuyau de prise de vapeur en fer de $0^m,10$ de diamètre avec robinet, aboutissant à un tuyau annulaire de $0^m,15$ reliant toutes les chaudières afin de parer à une interruption de service qui pourrait se produire dans l'une d'elles.

Ce tuyau annulaire, qui contourne l'espace placé dans les parloirs, est en fonte à joints de caoutchouc ; il est suspendu à la voûte par des chaises qui en permettent la libre dilatation.

De ce tuyau partent douze tuyaux rayonnants (deux pour chaque pavillon de cellule) ; ces tuyaux, munis de robinets, ont $0^m,08$ de diamètre ; un de ces tuyaux est placé de chaque côté de la galerie du rez-de-chaussée M, et se trouve logé dans les canaux qui existaient déjà en contre-bas du sol ; ces tuyaux sont munis de joints à emboîtement et de joints en caoutchouc afin de permettre la dilatation ; à l'extrémité de la galerie, ces tuyaux aboutissent à des récipients de vapeur destinés à chauffer l'air neuf introduit dans la galerie.

Les tuyaux de retour d'eau sont disposés dans les mêmes canaux que ceux qui reçoivent les tuyaux à vapeur ; ils aboutissent auprès des chaudières à trois récipients d'où l'eau est reprise pour l'alimentation.

Sur les tuyaux rayonnants dont nous avons parlé, se branche au droit de chaque cellule, un tuyau de $0^m,010$ à $0^m,015$ de diamètre intérieur et de $0^m,005$ d'épaisseur ; ils sont munis chacun d'un robinet ; chacun de ces tuyaux passe dans un caniveau pratiqué sous le sol de la cellule et aboutit à l'angle opposé au siége d'aisances, là il se recourbe et vient pénétrer dans le tuyau vertical de chauffage où il s'enfonce de un mètre environ ; un autre tuyau semblable part du bas du tuyau de chauffage et, placé parallèlement au premier, ramène l'eau de condensation dans le tuyau de retour des caniveaux des galeries. Ces deux tuyaux de vapeur et de retour placés dans le caniveau des cellules sont d'une seule longueur depuis

le robinet jusqu'au bas des tuyaux de chauffage ; ils sont libres dans le caniveau qui sert de prise d'air aux cellules sur les galeries ; ils ont une longueur de 4 mètres et se prêtent facilement à toutes les dilatations et toutes les contractions qui peuvent se produire, sans qu'il puisse en résulter aucune altération des joints.

Les tuyaux de chauffage sont en fonte, à joints de caoutchouc ; ils sont logés dans des gaînes placées, une dans chaque cellule, à l'angle vertical opposé aux siéges d'aisances ; ces tuyaux ont toute la hauteur des trois étages de cellules et traversent le plancher du premier et du deuxième étage ; ils sont terminés à la partie supérieure par une calotte qui porte un robinet à air et, dans le bas, par une bride recevant une plaque pleine en fonte sur laquelle sont taraudés les tuyaux d'arrivée de vapeur et de retour d'eau.

2825. L'air est introduit d'abord dans les galeries et subit un premier échauffement à son entrée au moyen de poêles à vapeur disposés aux extrémités des galeries, puis il pénètre dans chaque cellule par un canal horizontal placé sous le sol de la cellule, débouchant d'une part dans la galerie et se rendant d'autre part au bas de la gaîne verticale qui contient le tuyau de chauffage ; cet air sort échauffé à la partie supérieure de la gaîne, traverse diagonalement la cellule et sort par le siége d'aisances pour se rendre à la galerie d'évacuation et de la cheminée ; l'appel dans cette cheminée est fait au moyen d'une hélice mise en mouvement par une machine Farcot de quatre chevaux ; cette machine est placée dans la cave à côté de la cheminée, elle est à détente, sans condensation, la détente pouvant d'ailleurs être supprimée, de façon à ce que la vapeur agisse à pleine pression et puisse en hiver être employée au chauffage après qu'elle a traversé la machine ; en été, au contraire, lorsque le chauffage sera suspendu, on utilisera toute la détente de la machine.

Prison cellulaire de Provins.

2826. Cette prison est disposée de la même manière que la prison Mazas, mais elle ne renferme qu'un seul bâtiment, et seulement trente-neuf cellules. Les appareils de chauffage et de ventilation ont été construits par M. Grouvelle ; ils sont organisés en tous points comme dans la prison Mazas ; seulement la chaudière chauffe directement l'eau chaude d'hiver ; celle d'été est effectuée par un foyer d'appel spécial.

La surface des murailles est de 1059 mètres carrés, leur épaisseur

moyenne est de $0^m,60$; la surface des vitres est de $107^m,50$; la cheminée du calorifère a $0^m,31$ de diamètre et s'élève de 5 mètres dans la cheminée d'appel, qui a 18 mètres de hauteur, $1^m,06$ de diamètre à la base et $0^m,60$ à la partie supérieure.

M. Gentilhomme, architecte, ingénieur civil attaché à l'administration des hospices de Paris, a été chargé en 1849, par M. le préfet du département de Seine-et-Marne, d'examiner les appareils, d'en mesurer les effets, et de donner son avis sur leur réception ou leur rejet. C'est du rapport de M. Gentilhomme que nous avons extrait ce qui suit.

2827. *Observations des températures.* — Ces observations ont été faites dans quatre cellules de chaque étage : la plus éloignée du départ du tuyau de circulation, la plus rapprochée de ce départ, et deux du milieu de chaque côté, nord et sud. Elles ont eu lieu du 15 mars au 6 avril. Les températures ont été relevées le matin, à midi et le soir.

Le chauffage était toujours suspendu pendant la nuit, et pourtant l'abaissement de la température pendant l'interruption du chauffage n'a jamais dépassé $0^\circ,431$ à cause de la grande quantité de chaleur renfermée dans les murs et dans l'eau chaude.

La température extérieure moyenne du jour pendant les expériences a été de 6 degrés ; mais comme les nuits ont été très-froides, la température moyenne du jour et de la nuit a été beaucoup plus basse. Les déclarations du concierge de la prison, du gardien et de tous les prévenus sur la température pendant les jours les plus froids de l'hiver, sont unanimes et très-satisfaisantes ; quelques détenus se sont plaints de la chaleur, aucun du froid.

M. Gentilhomme observe avec raison que si le froid devenait excessif, il serait facile d'y pourvoir en prolongeant le chauffage au delà de sa durée ordinaire.

2828. *Ventilation.* — Les expériences de ventilation ont eu lieu sur les tuyaux de descente des cellules et dans la cheminée d'appel. Voici les résultats obtenus :

FOYER DE LA CHAUDIÈRE EN PLEIN FEU. — FOYER D'APPEL ÉTEINT.

2829. Rez-de-chaussée, volume d'air moyen sorti de chaque cellule par heure	»
1er étage —	$59^m,4$
2e — —	$81^m,0$
Volume d'air écoulé par la cheminée	$3400^m,0$

Le volume d'air appelé par la cheminée, réparti entre les trente-neuf cellules, donne pour chacune une ventilation de 87 mètres cubes ; la moyenne des ventilations des cellules, directement mesurée, est seulement de 70 mètres.

FOYER DE LA CHAUDIÈRE ÉTEINT DEPUIS DOUZE HEURES. — FOYER D'APPEL ÉTEINT.

2830. Rez-de-chaussée, volume d'air moyen sorti de chaque cellule par heure	32m,4
1er étage, —	28m,8
2e — —	16m,0
Volume d'air écoulé par la cheminée	1051m,0

Le volume d'air appelé par cellule, déduit de celui qui s'écoule par la cheminée, est de 27 mètres ; le volume d'air moyen écoulé par cellule, déduit des observations directes faites sur plusieurs d'entre elles, est de 25m,7.

FOYERS ÉTEINTS DEPUIS SIX JOURS.

2831. Rez-de-chaussée, côté du midi, volume d'air écoulé par cellule et par heure	24m,4
1er étage, —	34m,5
2e — —	7m,0
Volume d'air appelé par la cheminée par heure	1134m,0

Dans ces expériences, il n'y avait point de feu, ni dans le foyer de la cheminée, ni dans celui du fourneau. La ventilation des cellules dirigées vers le nord était complétement nulle.

FOYER DE LA CHAUDIÈRE ÉTEINT. — FOYER D'APPEL ALLUMÉ.

2832. Rez-de-chaussée, côté du nord, volume d'air écoulé par cellule et par heure	64m,8
— côté du midi, —	43m,4
1er étage, côte du nord, —	97m,2
— côté du midi, —	72m,7
2e — côté du nord, —	95m,7
— côté du midi, —	80m,0
Volume d'air écoulé par la cheminée par heure	2940m,0

Le volume d'air écoulé par la cheminée, divisé par le nombre 39 des cellules, donne pour la ventilation de chacune d'elles 75m,4, et la ventilation moyenne des cellules, déduite des expériences faites sur un grand nombre d'entre elles est 75m,6

Le chauffage a lieu avec de la tourbe ; la consommation moyenne

par jour est de 367 kilogrammes, équivalant à peu près à 175 kilogrammes de houille. La consommation moyenne du foyer d'appel n'a point été observée.

Ce rapport conclut à l'admission des appareils, attendu : 1° que la température exigée par le marché a été atteinte et pourrait être dépassée ; 2° que la ventilation, bien uniformément répartie, dépasse de beaucoup celle qui était exigée ; 3° enfin, que par une interruption même assez prolongée des foyers, la température et la ventilation n'éprouvent que des diminutions peu considérables.

Ces conclusions ne s'accordent nullement avec les résultats des expériences indiquées plus haut. La ventilation est loin d'être régulière, et quand le foyer est éteint depuis douze heures, la ventilation des cellules du deuxième étage est réduite au cinquième de ce qu'elle était précédemment. Il est en outre important de remarquer que les nombres donnés au rapport ne sont que des moyennes, et que par conséquent les irrégularités sont encore plus notables.

2833. *Observations.* — En admettant que la quantité de chaleur transmise par les vitres exposées à l'air, par mètre carré et par heure, soit de 22 unités de chaleur et que la chaleur transmise par les murailles dans les mêmes circonstances soit de 15, la quantité de chaleur perdue par les vitres et les murailles sera de $107,5 . 22 + 1059 . 15 = 18250$ unités de chaleur ; et comme le volume d'air appelé par heure était de 3400, et la température extérieure de 6°, la quantité de chaleur employée pour chauffer cet air de 6° à 15° ou de 9° était de $3400 . 1,3 . 9 : 4 = 9945$; et par conséquent la dépense totale de chaleur était de $18250 + 9945 = 28195$, qui, à raison de 3750 calories par kilogramme de houille, représentent 7,51 kilogrammes de houille, ce qui correspond à peu près à une consommation de 180 kilogrammes par jour.

Quant à la ventilation, l'avant-dernière série d'expériences ayant été faite lorsque les foyers étaient éteints depuis six jours, la ventilation n'a certainement été produite que par l'excès de température de l'air intérieur sur l'air extérieur. Le diamètre de la cheminée au sommet étant de $0^{m},60$, sa section est de $0^{mq},282$, et comme le volume d'air appelé était de 1134 mètres par heure ou de $1134 : 3600 = 0^{mc},315$ par seconde, il entrait dans la cheminée avec une vitesse de $0^{m},315 : 0,282 = 1^{m},117$. Or, pour un excès de température de 9 degrés et une hauteur de 18 mètres, la vitesse théorique d'accès est de $3^{m},35$; et par suite le rapport de la vitesse réelle à la vitesse théorique est de 0,30.

2834. Dans les dernières expériences sur la ventilation, lorsque le foyer était allumé, on n'a point mesuré la quantité de combustible brûlé par heure dans le foyer, mais on peut la déduire du résultat précédent, parce que le rapport de la vitesse réelle à la vitesse théorique doit rester le même. Le volume d'air appelé a été de 2940 mètres par heure ou $0^{mc},816$ par seconde. Alors la vitesse d'entrée de l'air dans la cheminée était de $0^{m},816 : 0,282 = 2,893$; la vitesse théorique devait être de $2,893 : 0,30 = 9,64$. D'après cela, on trouve facilement au moyen de la formule

$$v = \frac{0,268}{1 + at} \sqrt{H(t - \theta)(1 + at)},$$

en mettant à la place des lettres leurs valeurs actuelles, que l'excès de température de l'air dans la cheminée devait être de 57°, et que pour produire cette énorme ventilation de 74 mètres cubes par individu et par heure, on a dû dépenser par heure $2940 . 1,3 . (57 - 15) . 0,24 = 38525$ unités de chaleur qui correspondent à peu près à cinq kilogrammes de houille. Si l'on réduisait la ventilation au quart, c'est-à-dire à $18^{m},50$, ce qui pourrait paraître encore insuffisant, la vitesse deviendrait quatre fois plus petite, et comme les excès de température $t - \theta$ sont proportionnels aux carrés des vitesses, on aurait $t - \theta = (57 - 6) : 16$; d'où $t = 9°,18$; ainsi la consommation de combustible serait réduite à $9,18 : 57 = 0,16$, et par conséquent à $6 . 0,16 = 0^{k},80$.

2835. Ce qui manque à ces appareils de chauffage et de ventilation, ce sont des instruments qui indiquent, à chaque instant, l'état de la ventilation, afin qu'on puisse toujours la maintenir entre certaines limites; car, s'il est important pour la salubrité qu'elle ne descende pas au-dessous d'un certain point, il est nécessaire, sous le point de vue économique, de ne pas tomber dans des ventilations exagérées qui occasionnent inutilement une grande consommation de combustible. Mais, comme la ventilation par appel est fortement influencée par les variations atmosphériques, il faudrait avoir pour chaque cellule des appareils régulateurs tenant compte de toutes ces circonstances, ce qui paraît bien difficile.

Prison cellulaire de Tours.

2836. La prison de Tours est composée de trois bâtiments égaux, disposés comme ceux de la prison Mazas, et réunis à angles droits.

Ces bâtiments renferment 120 cellules, mais 108 seulement peuvent être occupées par les détenus. Au point de croisement de trois corridors se trouve la chapelle ; au-dessous, un calorifère à eau chaude. L'eau chaude circule dans des tuyaux horizontaux placés dans des canaux creusés au-dessous du sol et dans les axes des galeries. L'air extérieur pénètre dans ces canaux, s'échauffe contre les tuyaux à eau chaude et se rend dans chaque cellule par un conduit pratiqué dans l'épaisseur du mur.

La ventilation des galeries devait avoir lieu, pendant l'hiver, par le foyer du calorifère ; pour cela, sur le sol de chacune des trois galeries, et au milieu de leur longueur se trouvent deux ouvertures couvertes de grilles, terminant des canaux qui aboutissent au cendrier du calorifère. La ventilation d'été des galeries devait être produite par des ouvertures ménagées à chaque étage dans chacun des vitraux qui ferment les extrémités des galeries ; ces ouvertures pouvaient être plus ou moins fermées par des châssis vitrés, mobiles dans des coulisses. La ventilation des cellules devait avoir lieu, comme à Mazas, par les tuyaux de descente ; les cuvettes d'une forme conique, en fonte émaillée, communiquent à la partie inférieure avec un tuyau qui sort obliquement à travers le mur extérieur et descend verticalement, contre sa surface extérieure, dans la fosse creusée sous le chemin de ronde. Il y a une fosse pour six cellules. Les murailles et les voûtes des fosses sont formées de moellons posés à sec, sans mortier. Les fosses, à l'origine, étaient en communication avec deux cheminées du calorifère qui renfermaient à leur partie inférieure un poêle à eau chaude. La ventilation d'hiver devait avoir lieu par la chaleur de la fumée, et celle d'été par les poêles à eau chaude. « Les appareils ont été reçus par une commission qui n'a fait aucune réserve pour la ventilation qui ne fonctionnait pas encore. »

2837. Mais, lorsque les tuyaux de descente ont été posés, on a reconnu qu'ils fournissaient une communication facile entre les détenus : des paroles prononcées à voix basse près de l'ouverture d'un siége étaient entendues distinctement à l'ouverture des autres siéges aboutissant à la même fosse. Pour éviter cet inconvénient, on fit plonger les extrémités inférieures des tuyaux dans des vases pleins d'eau, et plus tard on se contenta de les faire plonger dans du sable qui couvrait le sol des fosses ; mais alors la communication des tuyaux avec l'air de la fosse a été intercepté, ainsi que le son ; on le croyait du moins alors, et il fallut chercher un autre procédé

d'aérage. Les cuvettes ont été garnies d'une enveloppe pourvue d'un tuyau latéral en tôle, qui, après s'être élevé à une certaine hauteur, communique avec un canal creusé dans la muraille aboutissant dans les combles ; là, il se termine par un tuyau en tôle qui entre perpendiculairement dans des gaînes en bois qui débouchent dans les deux cheminées rélargies du calorifère. A partir de ce point, les cheminées n'ont plus que 5 mètres de hauteur.

2838. Le chauffage a mal réussi, du moins pour les cellules du rez-de-chaussée, pour lesquelles l'air n'a pas une force ascensionnelle suffisante.

La ventilation d'hiver était faible, celle d'été était nulle ; il régnait dans cette dernière saison une odeur infecte dans les combles. Mais ce n'est pas tout, les tuyaux de descente, comme je l'ai dit, plongeaient par leur partie inférieure, et d'une petite quantité, dans le sable dont on avait rempli en partie les fosses, le son était intercepté, mais la communication des tuyaux avec l'air des fosses ne l'était point ; et comme les murs et les voûtes des fosses étaient en pierres sèches, et que le sol environnant était perméable à l'air, il s'ensuit que les tuyaux de descente qui n'étaient pas fermés à leur partie supérieure étaient réellement en communication avec l'air extérieur par l'intermédiaire des fosses. Alors les vents, l'échauffement des tuyaux de descente par l'ardeur du soleil, faisaient monter l'air des fosses dans les cellules.

2839. Ainsi, point de ventilation dans aucune saison, ni pour les cellules, ni pour les galeries ; l'air des cellules vicié par les vapeurs qui s'élevaient des tuyaux de descente, non fermés à leur partie supérieure ; les cellules en communication directe par les tuyaux d'ascension et de descente avec deux foyers permanents d'infection, les fosses et les combles, dont l'air, par l'action des vents et du soleil, se mouvait tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre, mais toujours en passant par les cellules, et enfin les cellules en communicatiou directe avec les galeries. Voilà ce qui existait dans la prison de Tours en 1849 ; il serait difficile d'imaginer une réunion de circonstances plus déplorables.

Dans le commencement du mois de juillet 1849, le choléra existait dans la ville de Tours, mais avec peu d'intensité et seulement dans les quartiers éloignés de la prison ; lorsque, le 13 de ce mois, cette terrible épidémie se manifesta dans l'intérieur de cet établissement et en quelques heures y prit un développement effrayant. Le 14, Monseigneur l'archevêque avait mis à la disposition du di-

L'air qui entre dans la cellule par une ouverture placée à la partie inférieure en sort par une autre ouverture située sur la face opposée placée aussi à la partie inférieure et en communication avec un canal aboutissant à une cheminée générale dans laquelle un foyer spécial détermine l'appel.

2843. Le chauffage de l'air dans des canaux verticaux occupés par des tuyaux ascendants et de retour d'eau chaude, est avantageux quand la pièce chauffée communique à la hauteur du plancher avec une cheminée d'appel échauffée, parce que la vitesse de l'air est à peu près la même à chaque étage, mais à la condition que l'on ait pris les précautions nécessaires pour que les veines d'air en arrivant dans la cheminée d'appel ne se prolongent pas transversalement de manière à en diminuer la section, et que des registres convenablement placés permettent de régler la ventilation des différents étages. Quelquefois le chauffage de l'air dans la cheminée d'appel se fait par des tuyaux à eau chaude qui se prolongent jusqu'à son sommet; c'est une disposition qui peut être employée dans des établissements, où la dépense de combustible pour la ventilation est peu considérable, et où l'on veut éviter un foyer spécial; mais pour des prisons, cette disposition a plusieurs graves inconvénients : elle exige d'abord une dépense assez considérable de frais d'établissement; de plus, une dépense de combustible beaucoup plus grande que si l'air était chauffé directement par de l'air échappé d'un foyer spécial, parce qu'il y a une perte de chaleur dans le chauffage de l'eau, et enfin parce que l'échauffement de l'air ayant lieu progressivement à mesure qu'il s'élève, il n'y a qu'une partie de la chaleur employée qui est utilisée pour le tirage. En outre dans cette disposition la ventilation étant liée au chauffage varie nécessairement avec lui, elle est faible au commencement et à la fin du chauffage, et acquiert son maximum d'effet pendant les jours les plus froids. Cette disposition ne peut pas être employée dans les prisons cellulaires où la ventilation doit être constante.

Observations sur le chauffage et la ventilation des prisons.

2844. Les opinions sont partagées sur l'opportunité du chauffage et de la ventilation, dans les maisons centrales où les prisonniers vivent et travaillent en commun. Quelques personnes pensent qu'il serait dangereux de placer les détenus dans des conditions sanitaires meilleures que celles dans lesquelles se trouvent souvent les ouvriers

honnêtes qui travaillent dans les ateliers de l'industrie, et en général, d'améliorer le régime des prisons, parce que ces améliorations diminueraient la gravité de la peine, aux yeux des hommes dépravés qui ne sont retenus que par la crainte du châtiment. D'autres sont d'avis, que la privation de la liberté, le travail forcé, une mauvaise nourriture, souvent même insuffisante, et la sévérité de la discipline, constituent une peine assez grave par elle-même pour permettre, sans inconvénients, les améliorations relatives à la salubrité. Je partage cette dernière opinion, d'autant plus que, les gardiens et toutes les personnes attachées à l'administration souffrent plus ou moins de l'insalubrité de la prison.

Ainsi, je pense que, dans les maisons centrales, les dortoirs, les ateliers, les infirmeries, les lieux d'aisances, doivent être assainis par une ventilation puissante, mais qu'elle pourrait être obtenue par le travail d'un certain nombre de détenus employés à faire mouvoir des ventilateurs. Toutefois la ventilation entraîne nécessairement un chauffage plus coûteux et les installations sont moins simples qu'elles ne paraissent l'être au premier abord (1).

Quant aux prisons cellulaires, le chauffage et une ventilation convenables sont maintenant hors de toute discussion et reconnus d'une nécessité absolue, non-seulement pour les prisons qui ne renferment que des prévenus, mais encore pour celles qui sont réservées aux condamnés.

2845. *Examen des différents modes de chauffage.* — On a proposé de chauffer chaque cellule par de petits poêles à eau chaude ou à vapeur qui seraient traversés par l'air de ventilation ; mais cette disposition exigerait une plus grande dépense d'établissement que si le chauffage avait lieu par l'air de ventilation chauffé en dehors des cellules ; ces poêles pourraient être avantageusement remplacés par un tuyau à eau chaude ou à vapeur passant dans un caniveau placé au-dessous ou latéralement à la cellule et communiquant avec elle.

(1) Il y a quelques années, je visitai la maison centrale de Nîmes, accompagné de M. Boileau de Castelneau, chirurgien de cette prison. Dans toutes les parties de la maison, dortoirs, ateliers, infirmerie, l'air était vicié, et on y éprouvait une sensation extrêmement pénible. Mais mon attention se fixa principalement sur deux ateliers ; dans l'un on peignait de la laine, et il y avait dans la pièce une douzaine de petits foyers à charbon de bois découverts ; dans l'autre, les détenus étaient employés à peigner des déchets de soie ; l'air y était tellement chargé de poussière de soie, qu'on apercevait à peine les objets à quelques mètres. Ces deux ateliers étaient extrêmement insalubres ; aussi, d'après les observations de l'habile chirurgien qui me conduisait, la mortalité y était très-grande, et excédait de beaucoup celle des autres ateliers.

2846. On a proposé de chauffer les cellules en chauffant d'abord le corridor par des calorifères, et en y prenant l'air de ventilation; cette disposition est certainement la plus simple qu'on puisse employer, mais elle exige nécessairement que la température des corridors excède de beaucoup la température des cellules, car, dans chacune d'elles, la quantité moyenne de chaleur perdue par les vitres et les murailles est beaucoup plus forte que la chaleur produite par le prisonnier; il y aurait alors une grande perte de chaleur par les voûtes des corridors et par les immenses vitrages qui les terminent. Ainsi il faut chauffer directement les cellules par l'air de ventilation porté à la température convenable.

2847. On peut hésiter entre les calorifères à vapeur seule, ceux à eau chaude, et ceux à air chaud. De ce qu'il n'existe encore, à ma connaissance, aucune prison en France où l'on ait établi des calorifères à vapeur seule (1), il ne faudrait pas en conclure que leur emploi offrirait des inconvénients. Ils donneraient, au contraire, plus de régularité utile que ceux à eau chaude, puisqu'ils permettraient mieux de faire varier la température des surfaces chauffantes suivant celle de l'air à échauffer; ils seraient en outre moins coûteux d'installation que ceux de ce dernier système, surtout lorsque l'eau reçoit la chaleur, comme à Mazas, par l'intermédiaire de la vapeur. Toutefois, les calorifères à eau sont d'un usage commode, et procurent une répartition suffisante de la chaleur; mais ils coûtent beaucoup plus de premier établissement que ceux à air chaud, et ce dernier mode de chauffage est celui qui me paraît le mieux convenir pour les petites prisons. Si la ventilation avait lieu par une machine à vapeur, ce qui suppose un grand établissement, l'usage de la vapeur comme chauffage se trouve naturellement indiqué.

2848. *Examen des différents systèmes de ventilation.* — Il existe, comme nous l'avons vu, plusieurs méthodes d'effectuer la ventilation, et ce n'est qu'après avoir examiné les avantages et les inconvénients de chacune d'elles qu'on pourra reconnaître celle qui est la plus avantageuse. Le système de chauffage que j'ai décrit, suppose que la ventilation se fait par appel. Cet appel peut avoir lieu ou par une action mécanique ou par une cheminée d'appel. Il résulte des expériences faites à Mazas et des quantités de combustible consommées de 1851 à 1854 que la consommation moyenne de combustible pour la ventilation a été de 19^{k} par heure, ce qui correspond au moins

(1) Nous avons vu que lors de la réfection des appareils de Mazas, c'est ce dernier moyen qui a été préféré.

à 5 chevaux-vapeur; mais la cheminée ayant 30^{m} de hauteur, l'excès de température étant à peu près de 20°, le tirage mécanique n'emploierait qu'une partie du travail de la cheminée représenté (2434) en général par aH : 2,12 (1 + at), qui dans le cas particulier dont il s'agit = 0,043. Ainsi une machine substituée à la cheminée exigerait un travail effectif de 5.0,043 = 0,215 cheval-vapeur; mais comme il y a toujours une perte de travail par les transmissions de mouvement et dans la machine ventilante elle-même, il faudrait compter au moins sur un cheval, et supposer qu'il n'y ait pas d'accroissement de vitesse, ni à l'entrée ni à la sortie de la machine; car les étranglements occasionnent plus ou moins de perte de travail. Pour la prison Mazas, il aurait suffi d'employer un ventilateur à force centrifuge un peu grand, ou deux de dimensions moyennes montés sur le même axe. L'appareil serait placé dans une chambre fermée où viendrait aboutir le canal d'appel. Chaque ventilateur aurait un tuyau d'écoulement qui communiquerait avec la cheminée. L'action mécanique ne dépenserait réellement qu'une quantité à peu près nulle de combustible, la chaleur de la vapeur détendue pouvant être employée en hiver au chauffage, et en été à la buanderie ou à d'autres usages. Cette dernière considération permettrait de donner aux orifices d'accès et aux canaux de circulation de plus petites dimensions, ainsi qu'à la cheminée d'écoulement; car si le travail était porté à 3 ou 4 chevaux, la chaleur de la vapeur détendue pourrait encore être employée utilement. Ainsi, par cette disposition, presque toute la dépense de combustible de la ventilation d'hiver et d'été se trouverait économisée, et nous avons vu que pour la prison Mazas cette dépense s'est élevée en moyenne à 6,266 francs par an, de 1851 à 1854. Mais il faudrait retrancher de cette économie une certaine somme, pour les frais d'entretien des machines.

Si l'on remarque, en outre, que la ventilation par insufflation n'est pas influencée, comme celle par appel, par les circonstances atmosphériques, on doit en conclure que, pour les grandes prisons, elle doit être préférée à la ventilation par appel. Pour les petites prisons, renfermant un nombre restreint de détenus, on ne doit pas non plus hésiter à l'employer; seulement, comme le travail mécanique est alors très-faible, il convient de faire tourner le ventilateur par les détenus eux-mêmes, en ayant soin d'installer un moyen facile de contrôler le nombre de tours. Le travail de nuit présenterait quelques difficultés sous le rapport disciplinaire; mais il ne serait pas impossible de se servir des détenus pour produire pendant le jour un travail qui serait

dépensé lentement pendant la nuit, en réduisant le volume d'air au strict nécessaire la nuit.

2849. En supposant que des circonstances particulières forcent à employer la ventilation par appel, il faut absolument éviter de faire sortir l'air des cellules par les tuyaux de descente des cuvettes ; car cette disposition a de graves inconvénients sous le rapport de la salubrité publique. En effet, la conséquence forcée est l'évacuation dans l'atmosphère de la totalité de l'air de ventilation saturé des émanations des fosses ; à la prison Mazas, le volume d'air versé dans une heure par la cheminée est à peu près de 27,000 mètres cubes, et par jour de 658,000. On conçoit que, lorsque les vents rabattent à la surface du sol cette masse d'air infect, il en résulte pour le quartier une insalubrité réelle. On peut craindre, en outre, que les tuyaux de descente ne soient obstrués, en tout ou en partie, par les matières ; ce qui arrête ou diminue nécessairement la ventilation. Il vaudrait donc mieux employer des cuvettes à tampon et à deux enveloppes, bien que cette disposition exige de la part des détenus des soins qu'on n'obtiendrait peut-être pas facilement ; et il est indispensable d'établir un canal spécial pour diriger l'air de ventilation vers la cheminée.

L'air pourrait s'écouler de chaque étage par un conduit placé près du plafond des cellules, du côté du corridor, en dedans ou en dehors, ou par l'intervalle des planchers et des voûtes des cellules inférieures, quand cette disposition a été prise pour isoler davantage les prisonniers. Le règlement de la ventilation de chaque cellule doit pouvoir s'effectuer au moyen d'un registre placé à l'entrée du conduit qui amène l'air chaud dans la cellule, et dont la tige traverserait le canal renfermant les tuyaux de chauffage.

2850. Pour les grandes prisons, la disposition du foyer d'appel de Mazas me paraît très-convenable. Pour les petites prisons, on pourrait avec avantage employer un poêle à alimentation continue, d'autant mieux qu'il serait facile de varier la consommation de combustible, et par suite le tirage, au moyen du registre d'accès de l'air dans le cendrier. Dans tous les cas, l'air nécessaire à la combustion doit être pris dans le tuyau d'appel.

2851. Il est évidemment toujours utile de placer la cheminée des fourneaux de chauffage dans la cheminée de ventilation.

Les raisons que nous avons déjà indiquées rendront souvent préférable l'emploi, même pour l'appel, de moyens mécaniques.

Quant au calcul des quantités de chaleur à dépenser pour le chauf-

fage et des résistances à vaincre par la cheminée d'appel, je renverrai aux livres II et VI.

2852. Tout ce que nous venons de dire suppose que les dispositions de chauffage et de ventilation ont été arrêtées avant la construction du bâtiment et qu'on s'y est conformé. Mais si la prison avait été construite sans aucune disposition particulière pour le chauffage et la ventilation, il faudrait chercher quelles sont les dispositions praticables les moins défavorables. La ventilation par insufflation exigeant des conduits moins grands serait, dans ce cas, plus fréquemment applicable.

2853. Dans tous les systèmes, il est très-avantageux d'avoir, pour servir de guide au chauffeur, des appareils qui indiquent à chaque instant l'état de la ventilation, et il est, en outre, utile d'avoir un instrument enregistrant la quantité de ventilation.

Je n'ai pas parlé du mode de ventilation avec poêle à eau chaude et cheminée partant des combles, parce que je m'en suis occupé longuement à l'occasion de la prison Mazas, et que j'y reviendrai à propos des hôpitaux. Je dirai seulement ici que par cette disposition les frais d'établissement deviennent plus considérables que quand le chauffage a lieu par des calorifères directs à air chaud. Quant à la ventilation, les dépenses sont au moins deux fois plus grandes en hiver et cinq fois plus grandes en été qu'avec une cheminée partant du sol.

CHAPITRE VI

Chauffage et assainissement des hospices et hopitaux.

2854. De tous les établissements publics, les hôpitaux sont ceux dans lesquels il est le plus important d'établir un bon système de chauffage et de ventilation ; ce n'est cependant que depuis un petit nombre d'années qu'on s'est occupé de cette question. Ordinairement les architectes se contentent de donner aux salles une grande hauteur, à l'édifice une forme monumentale, de façon à donner aux salles une capacité de 40 à 50 mètres cubes par lit, mais ne se préoccupent pas autrement des conditions sanitaires. La bonne tenue des hospices, la propreté qui y règne, signifient peu pour l'assainissement, et il suffit d'être entré le matin dans une salle non ventilée avant l'ouverture

2861. Les inconvénients de ce mode de chauffage et de la ventilation par les cendriers échappèrent à la commission chargée de recevoir les travaux de l'entrepreneur; mais on sait qu'en France, il arrive quelquefois que les commissions, ne pouvant consacrer assez de temps à l'accomplissement de leur mandat, se décident d'après l'examen ou l'opinion d'un seul de leurs membres.

Les résultats obtenus furent jugés suffisants par la commission chargée de la réception des appareils; mais, d'un autre côté, une commission belge chargée, en 1845, d'examiner les différents systèmes de chauffage et de ventilation adoptés dans les édifices publics, en France, visita Charenton et donna, page 21 de son rapport, le résultat suivant de son examen :

« A Charenton, où ce système de ventilation est établi en grand « (l'appel par les cendriers des foyers), nous avons désiré constater sa puissance et ses bons effets, et nous avons pu nous convaincre, par quelques expériences que nous avons faites avec la « flamme d'une bougie, que cette ventilation était complétement « irrégulière : sur cinq cellules dans lesquelles nous avons expérimenté, deux seulement faisaient appel, et les trois autres cellules « produisaient un effet contraire, c'est-à-dire que l'air des autres, « au lieu d'être aspiré par les orifices pratiqués dans les planchers, « arrivait avec assez de vitesse et formait ainsi des courants inverses « de celui qui aurait dû avoir lieu. »

2862. Les résultats trouvés par les délégués belges étaient faciles à prévoir. Comme nous l'avons déjà dit, l'idée de l'appel par les cendriers doit être rejetée partout, et particulièrement pour les hôpitaux, où l'abondance et la régularité dans la ventilation sont les premières conditions à remplir. Quant au chauffage à l'eau chaude, d'après des renseignements plus récents, il laisserait lui-même à Charenton beaucoup à désirer, et on n'obtiendrait même plus les résultats déjà évidemment insuffisants que constatait la Commission de 1845 dans son rapport si complétement défavorable.

Hôpital Beaujon.

Appareils de M. Duvoir-Leblanc.

2863. Un pavillon de l'hôpital Beaujon a été aussi chauffé et ventilé par M. Duvoir-Leblanc. Les appareils sont disposés de la même manière que dans le projet présenté par le même entrepreneur pour la prison Mazas, projet qui a été rejeté, comme je l'ai déjà dit. Cette

disposition consiste à chauffer l'air de ventilation par des poêles placés dans les salles, à faire évacuer l'air vicié par des cheminées qui s'ouvrent au niveau du sol et viennent déboucher dans une cheminée centrale partant des combles et renfermant un calorifère à eau chaude, à grandes surfaces de chauffe qui sert de vase d'expansion; de ce calorifère partent les différents tuyaux de descente de l'eau chaude qui alimente les poêles. L'établissement de ces appareils constituait une amélioration évidente sur les mauvais poêles qu'ils remplaçaient. Le pavillon de l'hôpital Beaujon, ainsi chauffé et ventilé, fut moins malsain pour les malades que les autres pavillons chauffés par de simples poêles. Toutefois la ventilation ne fut pas assez énergique pour empêcher l'odeur de certains malades affectés de maladies spéciales de se répandre dans tout le pavillon et d'affecter péniblement tout au moins l'odorat.

Hôpital Necker.

Appareils de M. Duvoir-Leblanc.

2864. A l'hôpital Necker, dont un pavillon a aussi été chauffé par M. Duvoir-Leblanc, les appareils sont disposés à peu près de la même manière qu'à Beaujon. L'hôpital renferme deux pavillons composés chacun d'un rez-de-chaussée et de deux étages. Le nombre total des lits est de 168. D'après son marché, l'entrepreneur s'était engagé à maintenir, pendant les sept mois de chauffage, une température de 15° dans les salles, à produire jour et nuit une ventilation supérieure à 60 mètres cubes d'air par malade et par heure, moyennant une somme de 15 francs par jour tout compris. La ventilation d'été devait avoir lieu au moyen de 100 kilogrammes de houille fournie par l'Administration. La réception des appareils n'a été faite qu'après une série d'expériences dirigées par M. Leblanc. Comme elles n'ont duré que du mois de janvier au mois de mai, elles n'ont pu porter sur la ventilation d'été, qui est, dans les mois de chaleur, la pierre de touche des systèmes de ventilation.

2865. Dans le rapport de la Commission on trouve ce passage : « M. Duvoir-Leblanc, qui a beaucoup perfectionné ses appareils « depuis la construction de ceux qui fonctionnent à l'hospice Beau- « jon, est parvenu à supprimer complétement le foyer existant dans « les caves, en sorte que, l'été comme l'hiver, le chauffage de l'eau « destinée à la circulation s'opère par la chaleur perdue des foyers « destinés aux préparations médicamenteuses, cataplasmes, etc.....

salles et les promenoirs, reçut donc l'approbation du jury ; sa construction était résolue. Aucune raison ne semblait devoir s'opposer à ce qu'un jugement rendu à la suite d'un concours public par le jury de ce concours, produisît son effet ; mais il n'en fut pas ainsi. Le mode de chauffage à l'eau de M. Léon Duvoir était tellement soutenu par quelques personnes, qu'il s'éleva auprès de l'Administration supérieure pour le faire prévaloir une nouvelle lutte d'influences. Il en résulta, chose tout à fait inusitée, un renvoi du projet adopté par le jury au jugement du Conseil des bâtiments civils, qui conclut à ce que l'Administration ne devait adopter aucune innovation ; et ensuite, en 1852, un second renvoi au général Morin qui était appelé par le Ministre M. de Persigny, à donner son avis sur le système de la pulsion avec chauffage à vapeur et sur les appareils de M. Duvoir. Ce savant émit l'avis qu'il fallait retirer du projet de MM. Thomas et Laurens la moitié des pavillons de malades pour les donner à M. Duvoir, et laisser appliquer, par suite, le système de ces ingénieurs aux trois autres pavillons et aux divers services de l'hôpital. Cet avis était basé sur l'utilité qu'il y aurait à créer une expérimentation comparative des deux procédés dans le même établissement. Le système de MM. Thomas et Laurens, système avantageux surtout pour les grands établissements, se trouvait ainsi devoir perdre, par une application plus restreinte, une partie de ses avantages. L'avis de M. Morin fut cependant admis par le Ministre et suivi d'exécution. Cette décision a grevé le système nouveau de la ventilation insufflée d'un accroissement de frais de première installation, et aussi d'une augmentation notable dans les frais annuels de la gestion et de l'entretien.

Tous les appareils de Lariboisière fonctionnent depuis la fin de l'hiver de 1854.

2872. La figure 695 donne le plan de la moitié de l'hôpital Lariboisière. Les malades sont distribués dans six pavillons isolés et distants les uns des autres d'environ 20 mètres ; trois sont à droite de la grande cour centrale de 115 mètres de longueur sur 45 mètres de largeur, et les trois autres à gauche de cette même cour, en regard des premiers. Chaque pavillon contient trois salles de malades, le rez-de-chaussée, le premier et le deuxième étage ; chacune renferme 32 lits : à l'extrémité de chaque salle il y a une chambre réservée, à deux lits. C'est donc un total de 102 lits par pavillon ; soit 612 pour tout l'hôpital. Des chauffoirs P, P, P, promenoirs ou réfectoires, sont au nombre de quatre de chaque côté des pavillons

de l'hôpital ; ils relient les pavillons entre eux. Dans les épidémies, on convertit les chauffoirs en salles de malades ; et souvent on ajoute quelques lits aux extrémités des salles. En *k l f*, un bâtiment à plusieurs étages contient une vaste buanderie et la lingerie : le bâtiment N, qui lui fait pendant, renferme la grande communauté des sœurs et leur infirmerie. Les bâtiments Q, Q, placés des deux côtés de la chapelle *v* sont destinés aux bains ordinaires des hommes et des femmes, aux bains de vapeur en *j* et *q*, aux amphithéâtres et salles de dissection. A droite et à gauche de l'entrée de l'hôpital sont les bâtiments de l'administration, qui contiennent aussi tous les services de la pharmacie et des cuisines. Les pavillons n°s 2, 4 et 6 sont affectés aux hommes et ceux en regard, portant les n°s 1, 3 et 5, aux femmes : ces derniers furent destinés aux appareils de M. L. Duvoir ; les pavillons de droite et tous les services de l'hôpital, tels que la buanderie, les bains d'eau et de vapeur, la communauté des sœurs, furent attribués au système nouveau qui employait la vapeur. Un mur d'enceinte enferme complétement tous les bâtiments de l'établissement, qui n'ont ainsi de communication avec l'extérieur que par le portique de l'entrée et une porte de service sur le boulevard extérieur ; ce type a été appliqué dans des dispositions générales aux deux nouveaux hôpitaux de Paris, l'hôpital de Ménilmontant et le nouvel Hôtel-Dieu.

Appareils de M. Duvoir-Leblanc.

2873. Je m'étendrai un peu sur l'appareil établi à Lariboisière, parce qu'étant le dernier monté par ce constructeur, il est pourvu de tous ses perfectionnements, et que d'ailleurs, étant conforme dans toutes ses dispositions aux appareils existant dans d'autres établissements publics, il me permettra de compléter l'étude de ce procédé. Mais ce qui est beaucoup plus important, c'est que cette étude permettra de montrer les inconvénients et les difficultés que présente la ventilation par l'appel. On aura ainsi des éléments décisifs pour établir la valeur relative du système par appel et de celui de la ventilation par insufflation, ou *pulsion*. Ce dernier n'étant pas applicable en toutes circonstances, il n'est que plus intéressant de se rendre compte des défectuosités du système de l'appel et des moyens d'en atténuer les conséquences.

2874. Les figures 684, 685 représentent la coupe longitudinale d'un des pavillons de Lariboisière chauffé par M. Duvoir, avec les

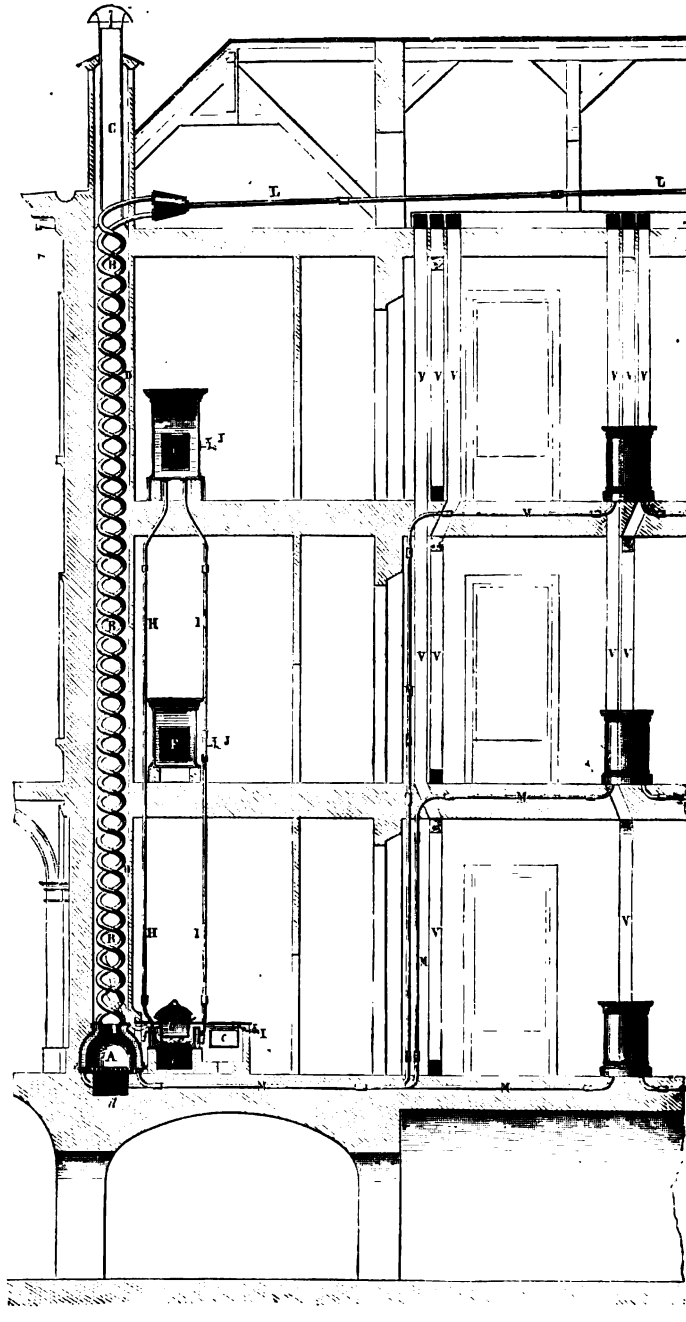


Fig. 684.

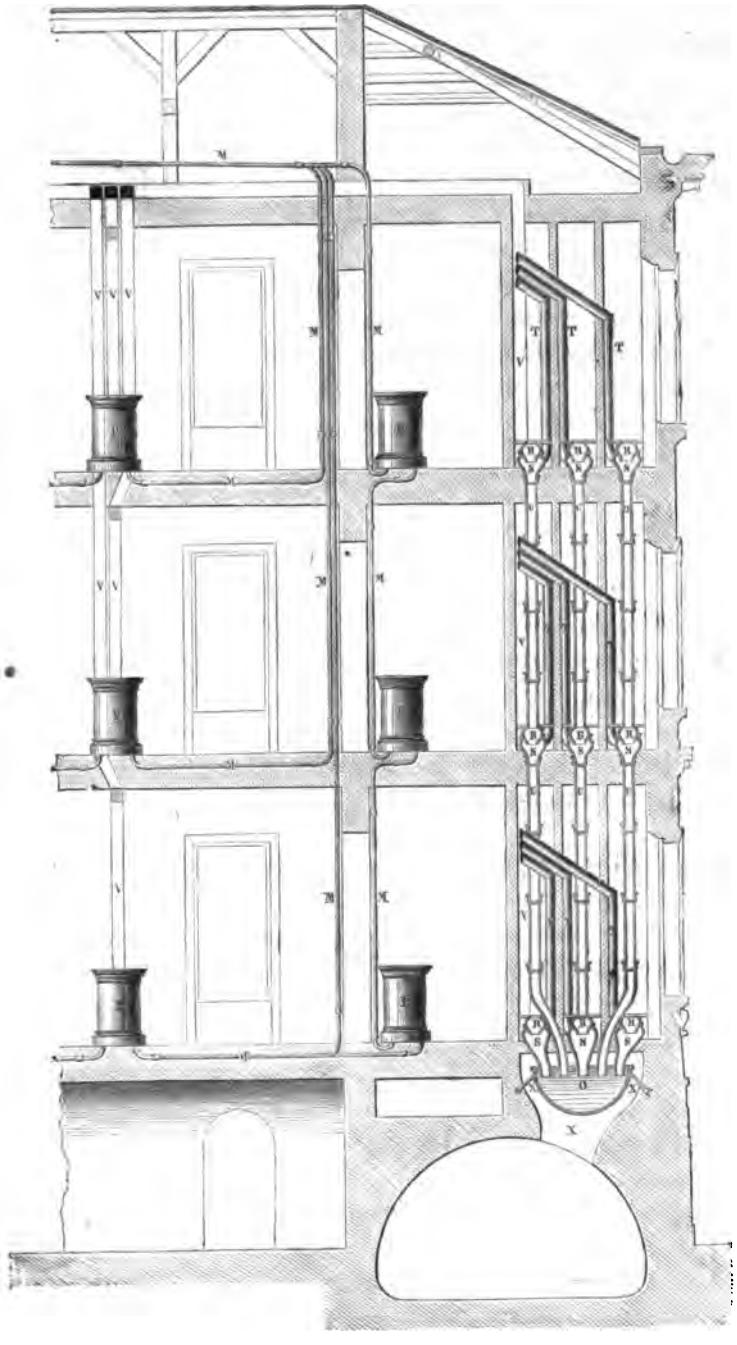


Fig. 685.

dispositions qu'il y a employées. La figure 686 est la coupe de la cheminée d'appel. Ces figures, qui sont la reproduction du dessin publié par M. Duvoir lui-même, représentent le premier projet que ce constructeur avait soumis à la Commission ; mais après son exécution il fut reconnu nécessaire d'y apporter de notables changements : ainsi la chaudière à eau chaude, vue au rez-de-chaussée, fut descendue dans la cave, et la chambre de la cheminée d'appel a été considérablement agrandie pour y loger un plus grand nombre de poêles à eau chaude reconnus indispensables pour la ventilation d'été. Je transcris la légende qui accompagnait le dessin que l'auteur remit au jury de l'exposition universelle, dont je faisais partie.

A, cloche servant de foyer pour le fourneau à cataplasmes et servant aussi à chauffer l'eau nécessaire au chauffage et à la ventilation.

a foyer chauffant les bouilleurs *f*, *f* et la marmite *b*.

c, four.

d, cendrier du foyer A.

f, *f*, bouilleurs chauffant l'eau destinée au service des salles et contenue dans le réservoir G.

B, B, B, serpentins servant de tubes ascensionnels et utilisant en même temps le calorique de la fumée provenant des deux foyers A et *a*.

C, prolongement du tuyau à fumée.

D, isolement formé autour du tuyau de fumée, où viennent aboutir les tuyaux de ventilation du promenoir et des chambres des sœurs.

F, étuves pour le service des salles chauffées par l'eau de la chaudière.

G, réservoir pour la distribution de l'eau chaude.

HH, tube ascensionnel partant des bouilleurs *f*, *f*, chauffant l'eau du réservoir G.

II, tube de distribution partant du réservoir G et retournant au bouilleur.

J, J, robinets de distribution d'eau.

K, K, réservoirs supérieurs (fig. 686) servant au chauffage et à la ventilation.

L, L, tubes ascensionnels partant de la chaudière et alimentant les réservoirs supérieurs K.

M, M, tubes partant des réservoirs K, alimentant les poêles, et retournant à la chaudière.

N, cheminée (fig. 686) par laquelle s'écoule l'air amené par les

conduits de ventilation dans la chambre d'appel chauffée par les réservoirs K.

P, P, poêles à eau chaude chauffant les salles.

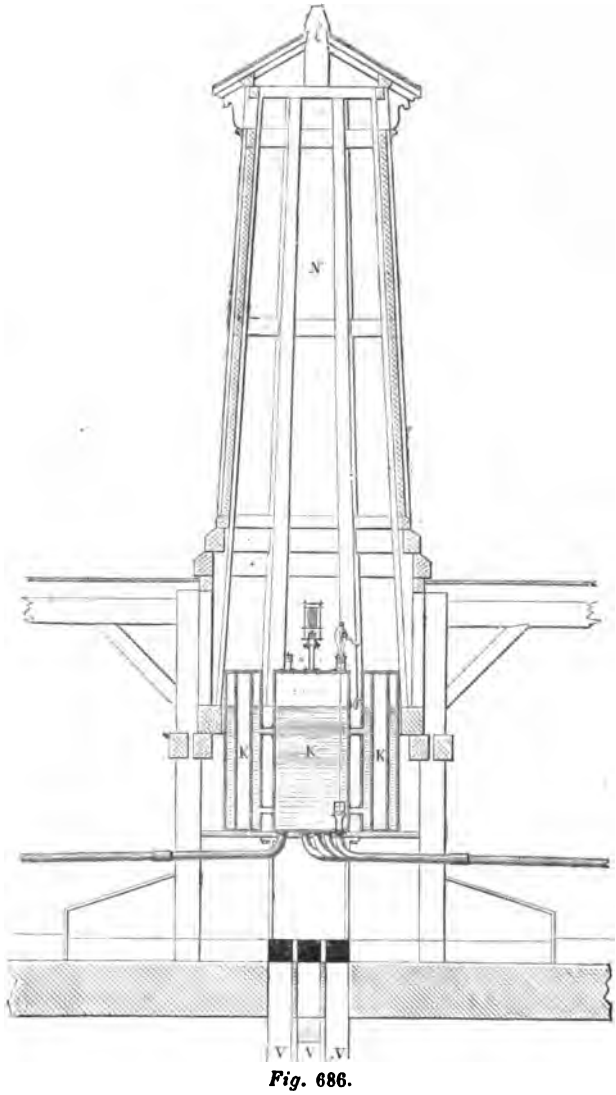


Fig. 686.

V, V, conduits de ventilation ouverts à la partie inférieure en hiver, et à la partie supérieure en été, au moyen de portes en tôle. Les conduits vont tous se réunir à la cheminée d'appel de la manière indiquée (*fig.* 686).

sait à désirer, car il arrivait fréquemment qu'elle atteignait 20° à l'étage supérieur, tandis qu'elle n'était que de 14° au rez-de-chaussée. La Commission pensait qu'une surveillance attentive permettrait de réduire ces inégalités.

Depuis, les inégalités de température aux divers étages ont continué à se présenter, et avec d'assez grands écarts; la température des salles a souvent donné lieu à des plaintes et est descendue à moins de 15°.

Depuis que le marché Duvoir est expiré et que les appareils marchent en régie, on n'a pas pu parvenir à faire cesser ces inégalités de la température, inhérentes au système de la circulation de l'eau, mais on a pu relever un peu la température.

2878. A l'égard de la ventilation, la Commission a constaté que le volume d'air, appelé par la cheminée, était toujours supérieur à celui qui pénètre dans les salles par les orifices d'accès de l'air neuf, différence qui provient de l'air appelé par les joints des portes et des fenêtres. Elle regrette que le cahier des charges n'ait pas prévu cette différence et ne spécifie pas si le volume d'air que l'entrepreneur s'est engagé à fournir doit être compté à l'entrée par les poêles, ou à la sortie par la cheminée d'appel.

En envisageant les conditions de la ventilation d'une manière générale, il y aurait de l'inconvénient à compter cet excédant comme favorable; car cet appel d'air irrégulier et inconnu pourrait souvent avoir lieu aux dépens des salles voisines, ou de locaux dont l'air est vicié et infect. Toutefois, il faut remarquer, ajoute la Commission, que, dans le cas particulier dont il s'agit, cette objection perd de son importance, puisque chaque pavillon est isolé.

2879. La Commission appelle sur ce sujet l'attention de l'Administration et émet le vœu qu'à l'avenir le chiffre de la ventilation par les poêles, facile à mesurer, soit spécifié dans les marchés; qu'on mette à l'étude la construction d'un appareil placé dans la cheminée d'appel qui indiquerait approximativement au moyen d'une aiguille si la ventilation est supérieure ou inférieure à celle qui est exigée, instrument qui servirait à l'Administration de contrôle permanent de la ventilation, comme les thermomètres à l'égard de la température.

Ce vœu nous montre combien les administrations peuvent se faire illusion sur l'efficacité de certaines ventilations par appel. Un instrument fonctionnant comme un thermomètre, pour la mesure de la ventilation, n'existe pas encore, mais, fût-il trouvé, que la question ne serait pas résolue d'une manière absolue : car il ne donnerait

que la mesure de la ventilation dans la cheminée d'appel ; et celle-ci n'est nullement en rapport constant soit dans des localités différentes, soit à des époques différentes dans le même lieu, avec la ventilation effective et utile. Il donnerait la ventilation *apparente* et non la ventilation *réelle*.

2880. La ventilation des pavillons de M. Léon Duvoir, estimée par malade et par heure, en la déduisant du volume total d'air écoulé par la cheminée d'appel que l'on divise par le nombre des lits, a toujours été pendant l'essai supérieure aux 60 mètres cubes exigés par le marché ; le résultat de cette division a oscillé entre 64 et 92 mètres cubes.

La ventilation déduite, au contraire, du volume d'air entrant dans les salles par les orifices des poêles, qui sont les entrées régulières et utiles de l'air neuf, a été en général, et en moyenne, comprise entre 45 et 50 mètres cubes par malade.

L'évacuation par les ventouses, ou gaînes de sortie d'une même salle, a présenté de très-grandes inégalités, même à des instants très-rapprochés : l'écart maximum a été de 40 à 110.

2881. Ainsi les chiffres *moyens* de 45 à 50 mètres cubes, indiqués tout à l'heure, ne représentent pas encore réellement ce que chaque malade reçoit de ventilation : il y en a qui reçoivent beaucoup moins que le minimum voulu et d'autres beaucoup plus.

2882. Toutefois, la Commission, s'en tenant au système des moyennes, a été d'avis que l'appareil de M. Léon Duvoir était capable de produire, sous le rapport du chauffage et de la ventilation, les effets prescrits par le marché, mais en appliquant le chiffre de la ventilation au volume d'air expulsé par la cheminée d'appel et non au volume d'air neuf venant réellement à travers l'appareil lui-même.

Il n'y a pas eu d'expérience sur la ventilation d'été, pendant les mois de chaleur.

2883. Des expériences plus détaillées et plus nombreuses que celles de la Commission se trouvent dans une étude comparative des deux systèmes établis à Lariboisière ; ce travait fut fait en 1854-55 par M. Grassi, pharmacien en chef de cet établissement, pour passer sa thèse au doctorat en médecine (1).

(1) Depuis l'impression de la dernière édition de cet ouvrage, d'autres expériences ont été faites à Lariboisière ; elles ont soulevé des discussions relatives aux avantages et aux inconvénients des deux systèmes : l'appel et la pulsion. Le dernier système, étant venu à l'encontre d'opinions toutes faites et de positions prises ne fut pas toujours accueilli très-favorablement. Nous résumerons les résultats de ces expériences diverses.

Il est facile de se convaincre, à la lecture, que les expériences de M. Grassi ont été exécutées avec beaucoup de soin, sans parti pris ni préventions.

Elles ont eu pour objet de mesurer les volumes d'air entrés dans les salles par les orifices des poêles, et les volumes d'air écoulés par la cheminée d'appel, en se servant des anémomètres Combes. Pour abréger, j'appellerai :

v, le volume d'air entré par heure et par malade ;

V, le volume d'air sorti des salles par heure et par malade ;

θ, la température extérieure ;

t, celle de la pièce ;

t', celle de l'air dans la cheminée d'appel.

2884. *Ventilation sans chauffage.* — Le tableau ci-dessous donne le résultat de ces expériences.

VENTILATION SANS CHAUFFAGE

	v (1)	V	V — v	$\frac{V - v}{v}$	θ	t	t'
1re SÉRIE. — Nuits du 4 au 5 octobre 1855.							
	mc	mc	mc		°	°	°
Salle Sainte-Eugénie.. (Rez-de-chaussée).	25,9	95,1	75,4	3,70	14,2	18,8	34,5
Salle Ste-Élisabeth... (1er étage.)	20,4	84,3	68,0	4,17	14,2	19	34,5
Salle Sainte-Anne.... (2e étage.)	5,1	59,3	55,2	13,46	14,2	19	33,9
2e SÉRIE. — Nuits du 13, du 20 et du 25 octobre 1855.							
Salle Sainte-Eugénie..	33,2	87,7	60,7	2,25	14	17,5	»
Salle Ste-Élisabeth..	42,1	92,7	59,0	1,75	6	14,4	21,3
Salle Sainte-Anne....	23,5	52,6	33,8	2,80	10	15,4	19,5
3e SÉRIE. — Nuits du 29 au 30 octobre 1855.							
Salle Sainte-Eugénie..	21,4	64,2	47,1	2,75	9,5	14	15,5
Salle Ste-Élisabeth...	28,8	76,1	52,2	2,18	8,3	14	15,5
Salle Sainte-Anne. ..	41,6	54,0	20,7	0,62	8,3	14	15,5

(1) Les nombres inscrits dans cette colonne sont ceux de M. Grassi, multipliés par un coefficient 1,25 ; nous en donnons la raison un peu plus loin.

En prenant les moyennes résultant de ce tableau, on trouve pour les volumes d'air entrant par les poêles, par malade et par heure :

Au rez-de-chaussée.	Au 1er étage.	Au 2e étage.	Moyenne.	Rapport.
26m,8	30m,4	23m,4	26m,8.....	1

pour les volumes d'air sortis par malade et par heure :

82m,3	84m,4	55m,3	74m,0.....	2,75

pour les volumes d'air entrés par les fissures des portes et des fenêtres ou par la perméabilité des parois :

55mq,5	50m,0	31m,9	47m,2.....	1,75

En comparant les volumes d'air sortis des salles à celui qui s'est écoulé par la cheminée d'appel, M. Grassi trouve qu'il est entré directement du grenier dans la cheminée d'appel 8m,8 d'air par malade et par heure, c'est-à-dire 8,8 : 74=0,12. Mais il est important de remarquer que les nombres dont on a pris la moyenne ont varié dans des limites très-étendues, ainsi par exemple la valeur de (V—v) : v a varié de 0,6 à 13.

2885. Je ferai remarquer que ces expériences, que l'on a cherché plus tard à appliquer à la ventilation d'été, puisqu'elles sont faites sans chauffage, ne peuvent cependant représenter, avec une ventilation par appel, ce qui se passe pendant les chaleurs, par conséquent dans des conditions très-différentes.

Les circonstances observées étaient plus favorables aux appareils Duvoir que ne le serait le temps chaud, dans une assez forte proportion ; car la plus haute température extérieure, dans ces neuf observations effectuées, n'a été quatre fois que de 14°, tandis que les cinq autres fois, elle était notablement au-dessous de ce chiffre et descendait même à + 6°.

Je remarquerai aussi que la température des salles non chauffées était de 4°, 5° et 6° supérieure à la température extérieure. L'air neuf est pris dans les cours ; sa température devait être à peu près la température extérieure observée. On voit déjà que ce mode de ventilation par appel ne peut pas procurer, dans l'été, une atmosphère fraîche qui serait, pour des malades surtout, d'une si grande utilité.

2886. Les résultats précédents étaient peu favorables à l'appel puisque le rapport du volume de l'air évacué par la cheminée à celui de l'air neuf est égal à 2,75 ; les nombres de M. Grassi ont été con-

testés dans le rapport fait par M. le général Morin, le 22 juillet 1860, à la Commission chargée de déterminer le mode de ventilation et de chauffage à appliquer aux nouveaux bâtiments du Palais de justice. Le rapporteur n'acceptait les chiffres de M. Grassi qu'à la condition de les multiplier par 2,68 : il se basait sur ce que M. Grassi avait, pour ses expériences, coiffé l'orifice central des poêles par lequel entrait l'air neuf d'un ajutage tronc conique terminé par un court cylindre de $0^{m},297$ de diamètre, dont la section était, au point où se plaçait l'anémomètre, de $0^{mq},0692$ (et non pas de $0^{m},0613$ comme le dit le rapport) alors que la section totale des vides de la toile métallique qui garnit l'ouverture supérieure des poêles serait de $0^{mq},1642$. D'où la relation $\frac{0,0613}{0,1642} = \frac{1}{2,68}$ qui, en supposant le passage d'air proportionnel à la section, forcerait à multiplier les nombres de M. Grassi par 2,68.

Mais il est absolument impossible d'assimiler le passage de l'air à travers une toile métallique à la sortie à travers un ajutage conique; avec la forme de ce dernier la contraction est presque nulle, tandis qu'elle est considérable pour la toile métallique; aussi dans son ouvrage sur la ventilation (Paris, 1863, pages 439 et 440 du premier volume), le général Morin, en discutant ces mêmes chiffres et après des expériences spéciales faites sur un tuyau ayant les proportions données par M. Grassi, réduit la valeur du coefficient de 2,68 à 1,40; nous croyons ce nombre encore trop fort, attendu que le tuyau placé comme nous l'avons dit, agit comme diaphragme et qu'en vertu des résistances dans le tuyau d'accès l'effet de la fermeture d'un diaphragme se trouve notablement diminué (559). C'est pourquoi nous avons cru devoir adopter le nombre 1,25. Nous ne croyons pas devoir insister sur d'autres erreurs qui se trouvent au même endroit de l'ouvrage de M. Morin, telles que la section de passage dans les poêles, que M. Morin calcule en prenant les diamètres extérieurs des tubes, au lieu de prendre les diamètres intérieurs qui sont de $0^{m},38$ pour le gros tube et de $0^{m},095$ pour les petits tubes, réduit à 0,085 par la rondelle pour réserve ; on a ainsi une section totale de $0^{mq},1814$ et non de $0^{m},22$ comme l'indique le général, ce qui réduit notablement la diminution de section produite par la grille, l'ouverture libre de celle-ci étant de $0^{mq},1642$.

2887. *Ventilation et chauffage.* — Nous donnons dans le tableau suivant les résultats des expériences (les valeurs de v de M. Grassi ont été multipliées par 1,25) :

VENTILATION ET CHAUFFAGE

	v	V	V — v	$\frac{V - v}{v}$	θ	t	t'
1re SÉRIE. — Nuits du 5 au 6 décembre 1855.							
	mc	mc	mc	mc	o	o	o
Salle Sainte-Eugénie.. (Rez-de-chaussée.)	38,7	93,0	62,0	2,0	4,5	16	16
Salle Ste-Élisabeth.. (1er étage.)	61,2	94,0	45,0	0,9	4,5	15,9	16
Salle Sainte-Anne.... (2e étage.)	48,7	98,0	59,0	1,5	4,5	17	16
2e SÉRIE. — Nuits du 28 au 29 décembre 1855.							
Salle Sainte-Eugénie.	26,2	59,7	38,7	1,84	9	17	21
Salle Ste-Élisabeth..	48,0	80,4	42,0	1,09	9	18,8	21
Salle Sainte-Anne...	40,0	69,5	37,5	1,17	9	13	21

En prenant comme précédemment les moyennes de ces deux séries d'expériences, on trouve :

pour les volumes d'air entrant par les poêles par malade et par heure :

Au rez-de-chaussée.	Au 1er étage.	Au 2e étage.	Moyenne.	Rapport.
32mc,5	54mc,6	44mc,4	43mc,8	1

pour les volumes d'air sortis par malade et par heure :

76 ,3	87 ,2	83 ,7	82 ,4	1,88

pour les volumes d'air entrés par les fissures des portes et des fenêtres par malade et par heure :

43 ,8	32 ,6	39 ,3	38 ,6	0,88

Volumes d'air passant du grenier dans la cheminée par malade et par heure :

18m,50	18m,50	18m,50	.....	.....

2888. M. Grassi a ensuite examiné si la ventilation de chaque salle avait lieu régulièrement par les différents orifices de sortie de l'air, et pour cela il a observé les volumes d'air écoulés par les neuf

orifices de sortie situés d'un même côté de chaque salle. Pour la salle située au rez-de-chaussée, les volumes d'air écoulés étaient en moyenne de 195 mètres, et ils ont varié de 104 mètres à 248; pour la salle du premier étage, le volume moyen écoulé était de 152 mètres, et les variations ont été comprises entre 77 mètres et 248 mètres; pour le second étage, le volume moyen écoulé était de 170 mètres, et les variations de 73 à 226 mètres.

« Les volumes d'air, dit M. Grassi, débités par les divers canaux « d'évacuation sont, comme on le voit, très-différents les uns des « autres; ces différences correspondent à des variations analogues « dans les divers points des salles. C'est un inconvénient; au reste « on peut y remédier : la partie supérieure des canaux présente en « effet un registre que l'on peut ouvrir plus ou moins, de manière à « compenser, par une plus petite section du canal, la vitesse trop « grande de l'air. Je dois dire qu'on n'avait probablement pas encore « cherché à régulariser ainsi la ventilation, car j'ai trouvé les re- « gistres complétement ouverts. »

Ces conséquences ne sont pas admissibles; car si, par une position convenable de chaque registre, la ventilation était rendue régulière, l'effet de chaque orifice serait ramené à peu près au chiffre minimum 73, tandis que la valeur moyenne des appels des orifices des trois étages étant de 172 mètres, la ventilation moyenne serait réduite dans le rapport de 73 à 172; elle deviendrait donc 0,42 de sa valeur moyenne actuelle, et, comme elle est de $82^{m},4$, elle se trouverait réduite à $34^{m},6$. Ainsi la Commission de réception, qui a pris les moyennes et est ainsi parvenue, par une simple division des totaux, à un chiffre de ventilation supérieur à 60 mètres par lit, n'aurait obtenu que 34 mètres cubes environ, si le règlement absolu par les registres avait été effectué.

2889. Dans des expériences sur le même pavillon, MM. Trélat et H. Péligot ont trouvé les chiffres suivants pour l'évacuation de l'air vicié au moyen des dix-huit gaînes de chaque salle.

Au rez-de-chaussée, la moyenne des cinq gaînes du côté sud a été de $128^{mc},50$ par gaîne et par heure, et les évacuations ont varié de 84 mètres cubes à 181 mètres cubes; la moyenne des gaînes du côté nord a été de 122 mètres cubes et les débits ont varié de 80 mètres cubes à 155 mètres cubes.

Au premier étage, la moyenne des neuf gaînes sud était de $189^{mc},72$ avec une variation de $88^{mc},5$ à $233^{mc},10$; la moyenne des neuf gaînes du côté nord a été de $180^{mc},76$ et la variation de 88,80 à $229^{mc},40$.

Au second étage, les gaînes sud ont donné en moyenne 120^{mc},66 avec une variation de 84 mètres cubes à 215^{mc},20, et les gaînes nord ont fourni 138^{mc},75, la variation allant de 76 mètres cubes à 201^{mc},60.

Ces chiffres diffèrent, et parfois notablement, de ceux de M. Grassi. Les expériences de ce dernier ayant signalé de grandes inégalités d'un étage à l'autre et d'un point d'une salle à une autre, on a dû chercher à y remédier le plus possible par la manœuvre des registres. Il y avait donc de moins grandes inégalités, et déjà le volume total écoulé a diminué comme le faisait pressentir l'observation précédente. Pour le même côté des trois salles, il était chez M. Grassi de 4653 mètres cubes, et dans les expériences de MM. Trélat et H. Péligot, il se trouve déjà réduit à 3972 mètres cubes, quoiqu'on soit bien loin encore d'une répartition absolument régulière, laquelle est d'ailleurs impossible à obtenir au moyen de semblables gaînes.

En hiver, comme en été, l'air vicié sort toujours, du côté de l'appel, au niveau du plancher des salles.

2890. M. Grassi a cherché ensuite l'influence de l'ouverture des portes et des fenêtres sur la ventilation. Il a observé l'appel par le même orifice de la salle du rez-de-chaussée, quand la porte et les fenêtres étaient fermées et ensuite quand on ouvrait la porte d'entrée, ou les deux fenêtres adjacentes à l'orifice, les deux croisées en face, et les croisées du fond; il a trouvé pour les volumes d'air appelés dans ces différentes circonstances, 119 mètres; 134; 170; 169; 156. Ainsi l'ouverture des portes et des fenêtres modifie complétement la ventilation ; on en conçoit facilement la raison : l'air n'éprouve alors aucune résistance pour pénétrer dans la pièce.

2891. L'expérimentateur a constaté en outre que l'ouverture des croisées avait une grande influence sur le volume d'air neuf appelé par les orifices des poêles ; dans une série d'expériences faites sur les quatre poêles de la salle du rez-de-chaussée quand les portes et les fenêtres étaient fermées et quand deux croisées étaient ouvertes, le volume d'air appelé dans ce dernier cas était inférieur au premier de plus d'un sixième.

2892. Enfin M. Grassi a observé l'influence de l'ouverture des fenêtres d'une salle, sur la ventilation des autres salles, dont les portes et les fenêtres étaient fermées; et il a reconnu que cette influence était tout à fait insignifiante.

2893. Dans son ouvrage, le général Morin donne (pag. 459, t. Ier) les expériences qu'il a faites sur les poêles Duvoir, en 1861, pendant

le chauffage par conséquent, après, comme il le dit lui-même, avoir invité l'entrepreneur à mettre tout en état et à bien régler le chauffage et la ventilation. Les expériences ayant eu lieu sur les poêles dont on avait enlevé les couvercles grillagés ne représentent point l'état habituel des choses et il est impossible de supprimer ces grillages en service courant, les expériences ont porté sur le pavillon du milieu ; la température extérieure était de — 5° et celle des salles de + 15°.

Dans ces poêles, même débarrassés de leur couvercle, la quantité d'air fournie par ceux des extrémités de chaque salle est au rez-de-chaussée les deux tiers environ de celle que donnent les poêles du milieu ; au premier étage, un peu plus ; au second étage également, mais moins cependant qu'au premier.

Cela tient au mode de prise d'air, la résistance est plus grande pour les poêles extrêmes qui prennent l'air dans la cave que pour ceux du milieu qui le prennent au mur de parement de leur étage.

Les températures étaient respectivement pour les deux poêles placés l'un le plus près de la porte, l'autre le plus loin : au rez-de-chaussée 27° et 34° ; au premier étage 25° et 32° et au second étage 26° et 33° ; ces différences, encore sensibles malgré les soins pris pour la circonstance, deviennent plus grandes habituellement les jours où l'on doit peu chauffer, le poêle du fond est très-chaud, tandis que celui de l'entrée est à peine tiède ; cela tient à ce que l'eau chaude qui vient des réservoirs placés dans la cheminée d'appel arrive plus directement aux poêles du fond ; malgré les robinets de réglage, on n'a pas pu faire disparaître les différences de température entre les deux poêles extrêmes ; de sorte que la température est habituellement de 3° ou 4° plus élevée au fond des salles qu'à l'entrée.

Les volumes d'air fournis par chaque poêle présentent de grandes inégalités, comme cela a été constaté par les autres expérimentateurs ; on trouve par heure :

Au rez-de-chaussée....	353^{mc}	580^{mc}	661^{mc}	528^{mc}
Au 1er étage.....	278	603	468	562
Au 2e étage.....	313	655	666	463

La moyenne générale, donnée par le général Morin, est de 62 mètres cubes par lit et par heure. Ce nombre n'infirme en rien ceux trouvés par les autres expérimentateurs ; si on lui appliquait le coefficient de contraction relatif aux grilles supprimées, on trouverait un chiffre s'approchant de celui de M. Grassi.

2894. M. Morin fit faire, par l'ingénieur de la maison Duvoir, une expérience en août 1861, sur la ventilation d'été; elle a eu lieu la nuit seulement, comme celles de M. Grassi; on s'est contenté de mesurer le débit à la cheminée d'appel des pavillons. On a trouvé par heure et par lit: au pavillon n° 1 : 78^{mc},23; au pavillon n° 3 : 67^{mc},76 et au pavillon n° 5 : 89^{mc},57; moyenne : 78^{mc},51; on ne sait pas ce qui se passe dans chaque salle, et on ne connaît rien sur l'entrée de l'air neuf. Les fenêtres étaient fermées, mais les portes étaient ouvertes; cette ouverture de portes de plusieurs mètres carrés de section devait faciliter singulièrement l'accès de l'air extérieur et augmenter le débit de la cheminée d'appel.

La température dans la cheminée d'appel était de 37°, celle de l'extérieur étant de 17°, 14°, 15°, et elle s'est élevée à 42° pour des températures extérieures de 23 à 26°; on ne donne pas la température des salles qui, dans les expériences de M. Grassi, étaient de 5 à 8° au-dessus de l'extérieur. La différence pouvait être plus grande encore au mois d'août 1861, car on ne ventilait de jour que par l'ouverture des fenêtres, ce qui tend à équilibrer la température à l'intérieur et à l'extérieur. Les salles doivent donc être plus chaudes que quand il y a une ventilation de jour.

Il eût été très-intéressant de déterminer les entrées d'air par les poêles et la température des salles pendant le jour dans le cas des grandes chaleurs bien supérieures à celles de 15° et de 23° des expériences. On aurait déterminé ainsi l'influence sur la température des salles des prises d'air qui débouchent sur les façades exposées au soleil. On ne saurait donc conclure de ces expériences (comme le fait M. Morin, page 470) que le système de l'appel est capable d'extraire à Lariboisière, pendant la nuit, 80 mètres cubes d'air environ par heure et par lit d'une manière régulière et pour chaque malade; il resterait à démontrer aussi que l'appel se fait aussi activement pendant le jour.

2895. Les résultats différents trouvés par les divers expérimentateurs montrent qu'il est difficile d'obtenir une répartition régulière de l'air neuf par l'appel. Son action, malgré les 88^{mq} de surface de chauffe des poêles placés dans la cheminée, n'a pas fourni en été, ni même la nuit, une ventilation normale et suffisante.

On ne ventile par appel à Lariboisière que pendant la saison où l'on chauffe. Il vaudrait beaucoup mieux que la ventilation fût absolument indépendante du chauffage. En février 1877, alors que la température n'exigeait pas un chauffage énergique, on pouvait

remarquer dans les salles de l'appel une mauvaise odeur prononcée quoiqu'on ventilât, alors que dans les salles ventilées par pulsion, l'odeur était absolument nulle.

Ajoutons que les générateurs à eau chaude qui fonctionnent à plus de deux atmosphères, sont établis dans les caves sous chaque pavillon de malades. Ces chaudières devraient être soumises aux mêmes exigences que les chaudières à vapeur, car elles présentent le même danger.

Le chauffage à l'eau chaude n'a pu fournir l'égalité de la température; on constate toujours au second étage plusieurs degrés de plus qu'au rez-de-chaussée.

Depuis plusieurs années que le marché Duvoir est expiré, les appareils marchent en régie, la température des salles a été portée à 17° et dans quelques-unes à 18°. Avec une ventilation normale et effective, ces températures seraient insuffisantes, il faudrait compter de 20 à 22°; les températures de 15 à 16° sont trop faibles, même pour un hôpital non ventilé.

2896. Ces diverses expériences confirment celles qui avaient contribué à conduire MM. Thomas et Laurens à la ventilation par pulsion et les motifs dont ils ont toujours appuyé celle-ci : c'est que l'air qui entre accidentellement par les portes et les fenêtres, ou par les fissures des parois d'un édifice, quoi qu'on en ait dit, ne ventile pas utilement; entrant à proximité des ventouses de sortie, il leur arrive directement sans se mélanger à l'air de la salle. C'est ce qu'observe aussi M. Grassi, et il ajoute que cet air passe ainsi près de la tête des malades, qu'il entoure de courants d'air froid; que cet air pris indistinctement dans les cours et les corridors peut ne pas être pur. Enfin il cite un fait qu'il a observé avec plusieurs personnes de l'hôpital, et qui démontre un des inconvénients de la ventilation par appel signalé aussi dans les travaux déjà cités, à l'appui de la ventilation par pulsion. « La porte de la salle des bains de femmes avait « été laissée ouverte par mégarde; l'air qui en sortait accompagné « d'un nuage de vapeur aqueuse était attiré par le pavillon voisin « (à M. Duvoir) et venait s'y rendre avec toute son humidité. » Il s'y serait rendu avec tous ses miasmes, si une salle de dissection ou un lieu malsain eût été ainsi soumis à l'appel d'un pavillon peu éloigné.

2897. L'expérimentateur regrette, comme la Commission de réception, que le cahier des charges ne spécifie pas si les 60 mètres cubes d'air exigés par lit et par heure seront mesurés dans la cheminée

d'appel, ou s'ils se rapportent à l'air neuf qui entre par les poêles. Dans le deuxième cas les conditions imposées ne seraient pas à beaucoup près remplies. Il regrette également que le marché n'exige pas de ventilation de jour en été, parce que dans cette saison, l'équilibre des températures extérieure et intérieure est beaucoup plus fréquent qu'en hiver. Cet équilibre s'oppose à la ventilation naturelle, alors même que les croisées sont ouvertes. Ce fait est à ne pas perdre de vue quand on compare à Lariboisière le prix coûtant de la ventilation par appel et de la ventilation par pulsion ; car l'entreprise de l'appel est déchargée de la ventilation la plus difficile et la plus coûteuse, qu'elle n'a pas à donner et qu'on n'a pas à lui payer.

2898. Les observations puisées à des sources très-différentes, que je viens de rapporter, sont d'accord sur deux points très-importants : sur la grande différence qui existe entre le volume d'air introduit dans les salles à travers l'appareil et celui qui s'écoule par la cheminée d'appel; sur la grande irrégularité de l'appel opéré par les cheminées partielles, ou gaînes d'évacuation de l'air vicié, laquelle correspond à des inégalités proportionnelles dans la ventilation des différentes parties de la salle auxquelles ces orifices correspondent.

2899. D'après le rapport, la ventilation *moyenne* par malade et par heure déduite du volume d'air écoulé par la grande cheminée d'appel, serait de 78 mètres cubes : d'après la thèse, elle serait de 82 mètres cubes : ces nombres sont aussi rapprochés qu'on pouvait l'espérer, attendu les grandes variations qu'éprouve l'appel d'une cheminée d'un jour à l'autre. Le volume appelé par les poêles, toujours en moyenne, par lit et par heure, est d'après le rapport de 45 mètres cubes et d'après la thèse de $42^{mc},5$ seulement.

D'après la Commission de réception, le rapport moyen de la dépense par la cheminée d'appel à celle qui a lieu par les poêles serait égal à 78 : 45 = 1,73 ; d'après la thèse, ce rapport serait 82,4 : 43,8 = 1,88. Mais dans l'un ou l'autre cas, M. Duvoir-Leblanc n'a rempli ou dépassé les conditions du marché qu'en adoptant la supposition que le débit par la cheminée d'appel représente la ventilation réelle.

2900. D'après le rapport, l'écoulement par chaque gaîne de sortie des salles a varié de 40 mètres à 110 mètres, d'après la thèse dans la proportion de 73 à 248 et d'après MM. Trélat et H. Péligot de 76 à 233 mètres cubes : ces différences dans les observations d'un même appareil prouvent combien la ventilation par appel est va-

riable; elles montrent que celle de M. L. Duvoir à Lariboisière est très-irrégulière. Le cahier des charges ne dit pas d'une manière positive que la ventilation doit être régulière dans toutes les parties de la salle : admettrait-on cependant que les salles sont ventilées, si la totalité de l'air en traversait une certaine partie et que l'excès d'air que recevraient certains malades compensât l'absence de ventilation pour les autres? D'ailleurs, la régularité de la ventilation était tellement voulue que toutes les gaînes des salles devaient avoir deux orifices, un près du plancher pour l'hiver et l'autre près du plafond pour l'été; tous ces orifices devaient être garnis de registres, mais ceux d'en bas n'en ont pas et ceux d'en haut sont condamnés. La régularisation ne pourrait s'établir qu'en abaissant tous les registres de manière à réduire toutes les vitesses au minimum; alors, en effet, d'après les expériences de la Commission, en supposant que la vitesse moyenne observée ait été la moyenne des vitesses extrêmes, la régularité de la ventilation aurait réduit la ventilation moyenne à 78,40 : 75 = $41^m,6$. Aussi d'après le rapport lui-même, si la ventilation avait été rendue régulière, elle serait inférieure de beaucoup à celle qui était exigée, quoique estimée en moyenne.

2901. Quant à l'appareil en lui-même, il n'est pas établi selon les principes qui doivent présider à une bonne ventilation. Nous avons vu précédemment que pour les dimensions de cheminées qui sont précisément celles du pavillon de Lariboisière, pour produire le même appel par la cheminée des combles et par une cheminée recevant l'air à la surface du sol, les dépenses moyennes de combustible pour la ventilation d'hiver sont dans le rapport des nombres 1 et 2,5 et pour la ventilation d'été dans celui de 1 à 5 : les résistances pouvant être les mêmes dans les deux méthodes.

2902. Pour produire cet accroissement énorme dans la dépense de combustible on emploie 88 mètres carrés de surface de chauffe dans la cheminée d'appel. Ainsi M. Duvoir-Leblanc a doublé les dépenses d'établissement pour doubler la dépense moyenne de ventilation d'hiver et quintupler celle d'été. M. Duvoir-Leblanc prétend que dans ses appareils la ventilation régulière, au chiffre convenu dans ses marchés, est assurée, parce qu'elle dépend du chauffage; il le dit dans toutes ses publications et d'une manière positive; d'ailleurs ce n'est que dans cette supposition que les expériences faites pour la réception de ses appareils signifieraient quelque chose, ses appareils ne renfermant pas d'instrument ni de moyen pour indiquer l'état de la ventilation. Il est absolument impossible de produire une

ventilation régulière avec des poêles dont la température est réglée pour le chauffage; c'est là un principe général, indépendant de la disposition et du système des appareils, comme je vais le faire voir. C'est donc une erreur qu'il faut détruire dans l'intérêt de la question des chauffages.

2903. Considérons d'abord une cheminée d'appel recevant directement par le bas l'air extérieur; l'effet produit par la même cheminée dépendant uniquement de l'excès de la température moyenne de l'air chauffé dans la cheminée sur la température extérieure, il en résulte nécessairement que pour produire une ventilation constante dans toutes les saisons, il faudra fournir à l'air de la cheminée une quantité de chaleur également constante; c'est d'ailleurs un fait parfaitement constaté par l'expérience.

2904. Supposons maintenant que l'air extérieur avant de pénétrer dans la cheminée traverse, dans différentes directions, des pièces chauffées par des poêles, de manière à maintenir la température intérieure à 15°, et admettons que l'air ne soit pas surchauffé en arrivant dans la cheminée. L'air extérieur en entrant s'échauffera au-dessus de la température constante qui doit être maintenue de manière à fournir la chaleur qui passe à travers les murs et les murailles et il s'échappera par la cheminée à la température intérieure; il se produira alors une ventilation variable avec la température extérieure; elle sera nulle si l'air extérieur est à 15° et si on ne chauffe pas; mais à mesure que la température extérieure s'abaissera et qu'on chauffera davantage, la ventilation ira évidemment en croissant de manière à atteindre son maximum dans les jours les plus froids, et par la même raison elle ira en décroissant à mesure que la température extérieure se rapprochera de 15°.

2905. Admettons maintenant que les poêles soient chauffés par un courant d'eau chaude et que le vase d'expansion soit placé de manière à échauffer l'air à son entrée dans la cheminée. Pour chaque température extérieure, cette circonstance augmentera la ventilation, mais elle ne changera pas le sens de ses variations, puisque la température du vase d'expansion variera comme celui des poêles; ainsi encore dans ce cas la ventilation sera à son maximum dans les jours les plus froids et sera presque nulle au commencement et à la fin du chauffage.

2906. L'appareil de M. Duvoir-Leblanc est disposé exactement comme nous venons de le supposer. L'air extérieur entre dans les pièces à travers les poêles; il s'élève d'abord vers le plafond, descend

ensuite par couches plus ou moins isothermes, jusqu'aux orifices d'écoulement placés à la partie inférieure des salles, d'où il s'élève dans les combles pour gagner la cheminée qui renferme le vase d'expansion; ainsi la ventilation résulte de la force ascensionnelle de l'air à travers les poêles, dans les cheminées partielles des salles et dans la grande cheminée des combles dont il faut retrancher la charge nécessaire pour faire descendre l'air chaud du plafond au plancher de chaque salle. En admettant que les charges correspondantes aux deux premiers mouvements de l'air se compensent, tout se passe comme si la ventilation résultait d'une grande cheminée formée de deux parties, la première ayant la hauteur d'une, de deux ou de trois salles; la seconde, la hauteur de la cheminée des combles; la première partie étant à la température constante de 15° et la seconde à une température variant comme celle de l'eau dans le vase d'expansion, la cheminée communiquant librement par le bas avec l'air extérieur; or les poêles et le vase d'expansion, dont les températures sont solidaires, sont d'autant plus échauffés que la température extérieure est plus basse, et par conséquent la température moyenne de l'air dans cette cheminée, et par suite la ventilation, augmentera ou diminuera, dans le même sens que les quantités de combustible consommé pour maintenir la température intérieure. Il est, en outre, évident que si une ventilation constante était indépendante de la température extérieure, comme le prétend M. Duvoir-Leblanc, elle resterait la même au commencement et à la fin du chauffage, quelque petite que fût la différence de la température intérieure et de la température extérieure; et par suite elle aurait encore lieu quand on ne chaufferait pas du tout. D'ailleurs, si le principe dont il est question était vrai, il le serait pour un appartement chauffé par un foyer découvert dans lequel l'air extérieur pourrait entrer librement; et dans ce cas sa fausseté saute aux yeux.

2907. Le principe d'une ventilation régulière par le seul effet du chauffage est aussi absurde que la ventilation gratis par les cendriers des fourneaux de chauffage, qui a produit de si tristes résultats à la prison de Tours (2836 et suiv.) et à l'hôpital de Charenton (2847). Je suis vraiment honteux d'insister sur de pareilles choses ; mais les administrations publiques ne pouvant apprécier les procédés que par les avis et les recommandations qui les appuient, c'est un devoir que de leur signaler les erreurs sur lesquelles ils reposent.

2908. Cependant toutes les expériences faites par la Commission

de réception des appareils à Lariboisière et par M. Grassi ont donné pour des températures extérieures très-basses, puis plus élevées, des volumes d'air aspirés par la cheminée, qui dépassent de beaucoup ceux convenus. Il faut donc qu'il y ait, dans l'appareil, un moyen dont M. Duvoir-Leblanc fait mystère et qui permette de suppléer momentanément à l'insuffisance de la ventilation qui a lieu naturellement par le seul effet du chauffage. Il ne me paraît pas douteux que ce moyen consiste tout simplement dans l'ouverture du robinet du tuyau de communication directe du vase d'expansion avec la chaudière, tuyau indispensable pour la ventilation d'été qui doit avoir lieu sans chauffage : ce tuyau existe, quoiqu'il ne soit pas indiqué dans les dessins des appareils; or, ce tuyau de retour d'eau étant suffisant à lui seul pour produire la ventilation convenue sans chauffage, agissant en même temps que le tuyau de retour d'eau par les poêles, permet évidemment d'amener l'eau du vase d'expansion à une température assez élevée pour produire dans toutes les circonstances la ventilation totale observée sans accroissement de température. Reste maintenant à savoir si cette augmentation de ventilation n'a lieu que quand on fait des expériences, ou si le chauffeur a un moyen caché pour régler la ventilation ; car on ne peut pas admettre qu'un entrepreneur donne gratuitement une ventilation de 80 à 90 mètres cubes, quand il n'en doit que 60, et que ce surcroît de ventilation lui coûte un grand accroissement de dépenses en combustible

2909. En resumé, de ce que je viens d'exposer, il résulte trois choses parfaitement évidentes pour les appareils disposés comme ceux de M. Léon Duvoir : 1° qu'une ventilation uniforme et qui se règle d'elle-même par le seul effet des appareils de chauffage est impossible ; 2° que la ventilation dépend du chauffeur, qui ne sait pas lui-même ce qu'il fait quand il veut dépasser la ventilation variable, qui s'opère naturellement par suite du chauffage ; 3° enfin que des expériences dirigées avec le plus grand soin par les personnes les plus habiles, les plus intègres, quelque prolongées qu'elles soient, ne prouvent absolument rien pour ce qui se passe quand on ne fait plus d'expériences (1).

(1) Je dois faire observer que si la médaille d'or a été donnée à M. Léon Duvoir-Leblanc à l'exposition universelle de 1855, elle ne l'a été que pour ses *appareils de chauffage* et nullement pour ses ventilations : on en trouvera la preuve dans le rapport du jury lui-même.

Appareils du système de la ventilation par pulsion.

2910. J'ai déjà expliqué que le projet adopté par le jury du concours pour l'hôpital Lariboisière, consistait dans la ventilation par pulsion ou insufflation et dans un chauffage à vapeur, mais par l'intermédiaire de poêles à eau que la vapeur échauffait ; on a vu comment, suivant le conseil du général Morin, la moitié des salles seulement dut recevoir l'application du système. A l'exécution, le rôle des poêles à eau chaude fut amoindri pour donner une part plus directe à la vapeur, ce qui permet de mieux régler le chauffage d'après les variations de température de notre climat ; ce sont les dispositions générales des ingénieurs Thomas et Laurens qui ont été exécutées et leurs appareils ont fonctionné depuis 1855.

M. Farcot avait obtenu l'entreprise de ces travaux, d'après un cahier des charges qu'il ne lui était pas loisible de modifier, et dont il ne pouvait dépasser les prévisions.

Il n'est pas inutile de faire remarquer que ces travaux devaient être installés dans des bâtiments déjà construits, ce qui entraîne certaines défectuosités et un accroissement de dépenses ; ces inconvénients ne se produisirent pas au même degré pour l'appel, l'architecte pouvant croire dès 1847 à l'application des appareils Duvoir.

D'après les luttes d'influence qui s'étaient produites lorsqu'il s'était agi pour l'Administration des Hospices de prendre une décision au sujet de Lariboisière, on pouvait prévoir qu'elles se continueraient pendant et après l'exécution des travaux du nouveau système ; diverses expériences contradictoires ont été exécutées à un certain moment ; nous examinerons les conséquences qu'il en faut tirer ; disons maintenant que certaines d'entre elles avaient mené à établir que la ventilation par pulsion n'existe pas ; on pouvait donc croire à l'abandon du système après une pareille condamnation. Il n'en est rien cependant ; il n'a pas cessé de fonctionner dans cet établissement, et la pulsion avec l'emploi de la vapeur au chauffage est appliquée par l'Assistance publique de Paris dans le nouvel hôpital de Ménilmontant et à l'Hôtel-Dieu, non encore terminés. Différents hôpitaux et d'autres édifices à l'étranger ont employé la pulsion pour ventiler et la vapeur pour chauffer. En France, l'Hôtel de ville de Paris et la grande Maison de détention et de dépôt de Nanterre seront de même ventilés par pulsion et chauffés à la vapeur.

2911. *Principes de la ventilation par insufflation ou pulsion.* —

D'après MM. Thomas et Laurens, qui puisaient leurs convictions dans la pratique des forges, où l'on répartit l'air insufflé entre divers foyers en telle proportion et avec telle pression que l'on veut, il était évident qu'on obtiendrait dans la ventilation des locaux habités et particulièrement des hôpitaux, l'accès de l'air neuf en quantité voulue en chacun des points où on jugerait utile de le porter. L'expérience acquise dans la ventilation par appel avait montré la difficulté d'atteindre un pareil résultat, par suite des variations de l'état atmosphérique, soit au point de vue de la température, soit au point de vue de l'action du vent sur le débouché de la cheminée et sur les orifices de prise d'air. Les résultats obtenus au Théâtre-Lyrique et même à Lariboisière, malgré les soins apportés pendant les expérimentations qui y ont été faites sur l'appel, n'ont fait que confirmer cette appréciation.

2912. Un autre avantage de la pulsion, c'est qu'elle rend la ventilation indépendante du chauffage et qu'on peut l'augmenter ou la diminuer sans que le chauffage ait à intervenir. On sait que dans le système de la circulation d'eau chaude, le chauffage et la ventilation, partout où on s'est servi de ce système, sont dépendants l'un de l'autre.

2913. La pulsion permet, en outre, en dépensant une très-faible force, de puiser l'air neuf à une hauteur telle en contre-haut des toits et des bâtiments environnants, qu'on peut l'obtenir ainsi aussi pur que possible, puisqu'il est à l'abri des émanations des habitations et plus frais en été que s'il était pris dans les cours ou près du sol, à proximité des surfaces échauffées par le soleil. On a parfois, dans l'appel, puisé l'air dans les caves pour l'avoir frais, mais cette fraîcheur des caves ne peut se maintenir longtemps; d'ailleurs cet air habituellement ne serait pas pur, surtout s'il était pris dans les caves d'un hôpital. Il a d'ailleurs presque toujours une odeur désagréable qui achève d'en justifier le rejet.

Prendre l'air à une grande hauteur est facile et ne coûte rien en construction, si l'on doit élever un clocher dans l'édifice. Une gaîne spéciale ne serait pas d'ailleurs une dépense à condamner, du moment où elle assure la pureté de l'air. Dans des bâtiments à construire, il serait facile de réduire cette dépense au minimum. Enfin, en cas d'impossibilité, la pulsion permettrait d'aspirer l'air d'assez loin pour le prendre dans un emplacement salubre. On a dit qu'avec l'appel on pouvait arriver au même résultat; nous avons vu, quand il s'est agi du Théâtre-Lyrique, qu'en été, la quantité d'air neuf appelée par la conduite souterraine qui débouchait dans le square Saint-Jacques

n'était que le 1/6 du volume évacué par la cheminée d'appel; aussi cette galerie est-elle supprimée depuis longtemps.

2914. La puissance d'une cheminée d'appel est limitée, tandis qu'on peut organiser une machine à vapeur de manière à offrir une grande latitude; on ne peut faire croître le tirage *ad libitum* par l'élévation de la température, car la masse d'air enlevée ne croît que comme les racines carrées des différences entre la température de la cheminée et celle de l'intérieur.

La résistance qui se produirait dans les cheminées de prise d'air neuf absorberait une grande partie de la puissance des cheminées d'appel, surtout si les premières avaient une grande hauteur; aussi ce qu'on a tenté dans ce but s'est-il borné à prendre l'air sur les toits, et l'on peut citer des cas où on a été conduit à y renoncer comme à *Guy's Hospital*.

2915. Pour ventiler par pulsion, il faut nécessairement un moteur, qui le plus souvent ne peut être qu'une machine à vapeur commandant un ventilateur quelconque. Divers genres de ventilateurs sont applicables; ainsi le ventilateur à force centrifuge, disposé comme à Lariboisière pour ne produire aucun bruit; le ventilateur à hélice, un cylindre soufflant à tiroir qui donnerait le meilleur rendement, mais dont le grand volume serait souvent un obstacle insurmontable à son placement, tout autre genre de soufflerie, pourvu qu'elle fût sans bruit. M. Piarron de Montdésir a essayé un autre mode en employant le système de l'injection; mais ce moyen, qui n'a pas reçu d'application suivie, est peu propre à vaincre les résistances des coudes, des étranglements que présentent les artères, et à répartir l'air neuf dans leurs circulations plus ou moins compliquées. Cependant ce moyen peut être utile parfois, quoique son rendement ne soit pas le meilleur possible (2440). Dans tous les cas, la pulsion exige une plus ou moins grande dépense de force ou de charbon. Mais une cheminée d'appel, qui ne peut fonctionner qu'en donnant à l'air évacué un excès de température de 20 à 25° sur la température extérieure, occasionne une dépense de combustible tout aussi forte et même plus forte qu'une bonne machine (664).

Avec un moteur à vapeur, on réduit même à d'infimes proportions la dépense de combustible, quand la vapeur, après avoir agi mécaniquement, peut être appliquée à des chauffages, et tel est le cas de tous les hôpitaux où l'on a, même en été, l'emploi de cette vapeur pour chauffer l'eau destinée à différents services, pour les bains d'eau et de vapeur, pour la buanderie, etc. Dans les hôpitaux bien organisés,

il y a déjà une chaudière à vapeur pour ces divers usages, de telle sorte que l'accroissement de main-d'œuvre pour ventiler mécaniquement serait peu importante.

2916. Remarquons qu'une machine à vapeur pour la ventilation n'a pas besoin d'être du système le plus économique au point de vue de la dépense en vapeur puisque dans cette machine, sans condensation, on peut faire passer toute la vapeur dont on a besoin pour les chauffages et que celle-ci présente un volume supérieur à celui qu'exige la faible force du système ventilant.

Une machine à vapeur, à force variable à volonté, commandera donc un ventilateur quelconque qui recueillera de l'air pur pour le refouler dans les salles à ventiler. Cet air pénétrera dans les salles par des orifices déterminés aussi nombreux que possible, et on aura soin de les munir de registres ou valves qui permettront de régler le débit d'air en chaque point. La pulsion permet, en augmentant la pression initiale, d'augmenter la quantité d'air envoyée par les canaux de ventilation, soit accidentellement, en cas d'épidémie par exemple, soit dans le cas de canaux trop étroits.

2917. Le ventilateur sera installé dans une chambre spéciale, entièrement fermée à l'air ambiant, comme le dit le brevet de MM. Thomas et Laurens, pris en juin 1853 au nom de M. Armengaud aîné; cette chambre est en communication directe, par un canal ou conduit en bois ou en métal ou bien en maçonnerie, avec la prise d'air pur. C'est à la base de la cheminée d'air pur que doit aboutir ce canal d'aspiration.

2918. Dans une addition au brevet, on fait remarquer qu'en disposant le sommet de la cheminée de salubrité de manière à utiliser la vitesse du vent et en terminant cette cheminée, à sa partie inférieure, par des tuyaux qui viennent se joindre aux orifices d'aspiration du ventilateur, on diminuera le travail mécanique à dépenser pour l'aspiration.

2919. La ventilation par appel occasionne nécessairement une dépression dans l'atmosphère des salles ventilées, c'est-à-dire qu'elle y maintient une pression moindre que la pression atmosphérique; de là les rentrées d'air par les joints des portes et des fenêtres et par toutes les ouvertures accidentelles, ce qui produit des courants irréguliers et incommodes.

2920. La ventilation par pulsion permet de faire l'inverse, c'est-à-dire d'avoir dans les locaux ventilés un léger excès de pression. La fixation de cet excès de pression est assez délicate. Il peut être tel

qu'il suffise à l'évacuation de l'air vicié. Mais pour que la répartition à l'évacuation soit régulière, il faut des locaux convenablement construits et disposés, il faut que les portes soient doubles et munies de tambours, de manière qu'elles ne puissent être constamment ouvertes ou entrebâillées comme cela a lieu à Lariboisière.

2921. Ce moyen, l'excès de pression, avait réussi dans des ateliers. Mais il y avait à prévoir que dans certains cas, il y aurait lieu de joindre l'appel à la pulsion en vue d'une bonne évacuation de l'air vicié. C'est ce que dans le brevet déjà cité on dénomme « action d'appel limitée » ; cette action permet de régler la pression que l'on juge à propos d'établir dans les salles, la rend soit égale, soit inférieure à la pression extérieure. Mais l'usage de cet auxiliaire demande à être fait avec soin ; si l'action était trop énergique, le système serait vicié et l'appel serait plus nuisible qu'utile.

2922. Dès qu'il fut question de mettre en œuvre la pulsion à Lariboisière, les plus fortes préventions et des objections dont la source n'était peut-être pas tout à fait désintéressée, s'élevèrent contre toute idée de pression dans les salles de malades quelque faible qu'elle fût. Chacun sait cependant que la dépression, c'est-à-dire la baisse un peu forte du baromètre, n'est pas favorable à la santé des valétudinaires et des malades, tandis que la hausse du baromètre à 77 centimètres ne produit pas de mauvais effets. Que pourrait donc, au point de vue médical, produire un excès de pression de 20,25 ou 30 millimètres d'eau, alors que nous avons vu, cet hiver, le baromètre varier de plus de 35 millimètres, soit de 472 millimètres d'eau. Ce qu'il nous paraît important d'éviter, ce n'est pas une pression plus forte ou moins forte de quelques millimètres, mais bien l'irrégularité dans la pression. Ce sont surtout les changements brusques de pression qui sont défavorables.

2923. La marine anglaise a appliqué récemment la pulsion dans des conditions toutes particulières. Avec les énormes puissances que l'on donne actuellement aux machines marines, il n'y a guère moyen d'avoir des cheminées hautes de diamètres suffisants. Souffler de l'air sous les grilles dans des cendriers formés avec une machine, fait trop souvent brûler la chaudière ; on en est venu à mettre les chauffeurs dans un *enfer* parfaitement clos, un ventilateur prenant l'air sur le pont, l'insuffle dans l'enfer où il se maintient à une certaine pression. Dans la séance de la Société d'encouragement du 8 décembre 1876, M. de Fréminville, ingénieur de la marine française, en décrivant un yacht d'une légèreté et d'une

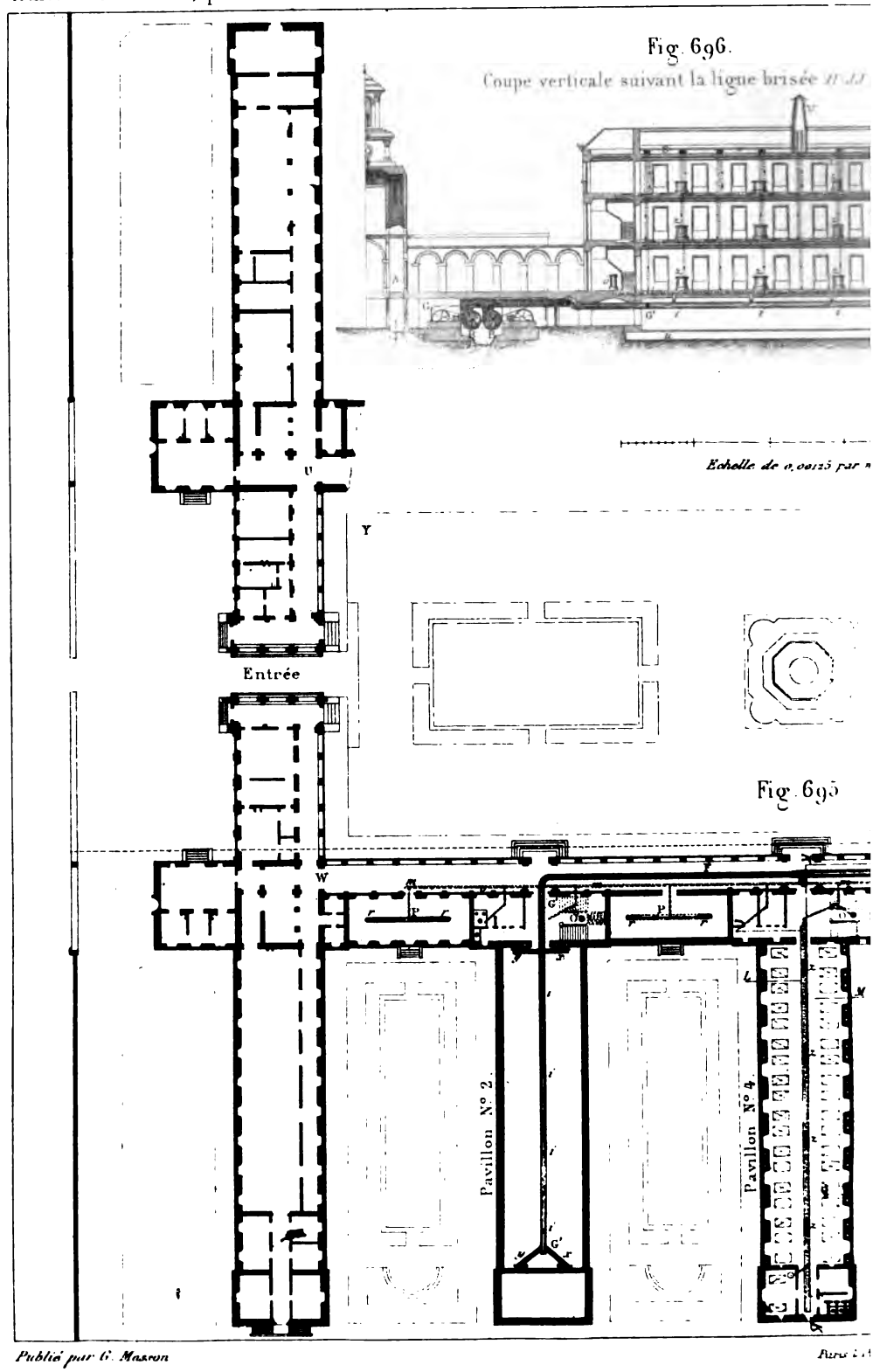


Fig. 696.
Coupe verticale suivant la ligne brisée
Echelle de 0,00125 par m
Entrée
Fig. 695
Pavillon N° 2.
Pavillon N° 4

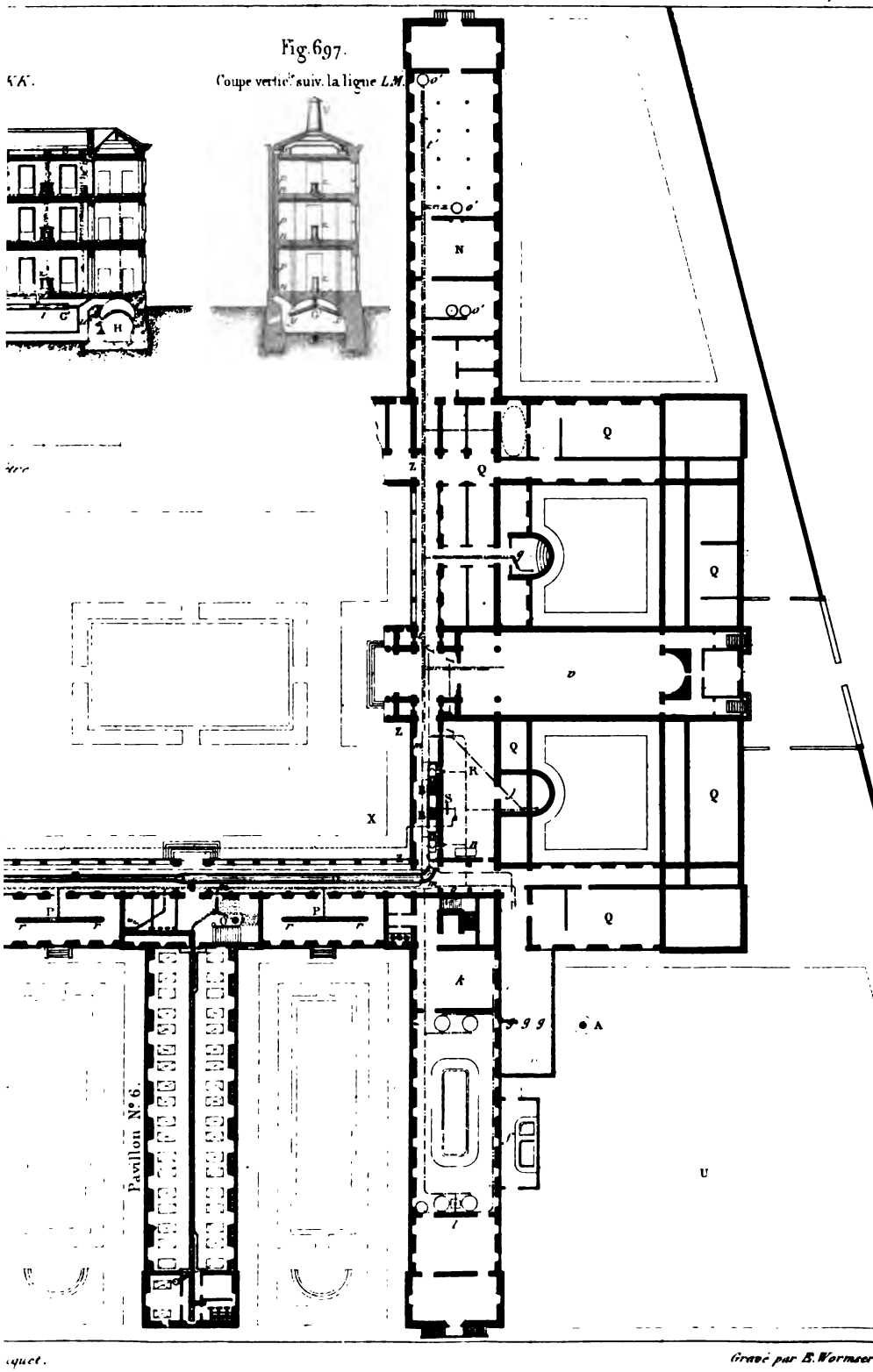


Fig. 697.
Coupe verticle suiv. la ligne L.M.
Pavillon N° 6.

vitesse extraordinaire, cite comme faisant partie du système qui a produit ces résultats, l'insufflation de l'air dans la chambre des chauffeurs par un ventilateur qui y maintient la pression à 100 ou 150 millimètres d'eau.

2924. *Dispositions employées à Lariboisière.* — La ventilation est effectuée avec de l'air recueilli au-dessus des toits, à une assez grande hauteur dans l'atmosphère pour qu'il soit pur de toutes les émanations qui se produisent dans un hôpital.

Le clocher de la chapelle, par sa hauteur et sa forme, s'est trouvé parfaitement disposé pour cela. On s'est contenté, pour toute appropriation, de donner aux lames des abat-son deux inclinaisons, de manière à utiliser la vitesse du vent qui, après les avoir traversées, arrive dans la gaîne *a b* (fig. 688), formée par l'un des quatre piliers creux de ce clocher. La dépense de construction pour avoir de l'air pur a donc été insignifiante, loin de s'être élevée, comme le général Morin l'a publié, à celle de la construction d'une haute cheminée dans l'intérieur de ce clocher, ce qui d'ailleurs eût été impossible dans un clocher tout bâti. Le mode de construction de celui-ci comportait, à ses quatre angles, des piliers creux, à parois épaisses, en pierres de taille ; on n'a donc fait qu'utiliser l'un de ces piliers pour l'arrivée de l'air pur ; c'est par ce moyen qu'est encore fourni aujourd'hui tout l'air de la ventilation par pulsion.

2925. La figure 687 est une coupe générale au rez-de-chaussée de la moitié de droite de l'hôpital ; la disposition des salles de la moitié de gauche est identique. Mais cette coupe horizontale est prise dans la cave par le pavillon n° 2, au premier étage pour le pavillon n° 4 et au second étage par le pavillon n° 6 ; une galerie souterraine dans laquelle débouche la cave de chaque pavillon règne sous tout le pourtour de l'édifice ; cette galerie est elle-même située sous le portique à arcades qui passe devant les pavillons et les chauffoirs P,P et entoure aussi la grande cour XY ; la cage d'escaliers de chaque pavillon et les chauffoirs ou promenoirs communiquent avec ce portique dont les arcades sont fermées par des vitrages.

Dans la partie ZZ de la galerie souterraine sont établies les machines à vapeur et celles de ventilation. Cette chambre communique de plain-pied avec celle des chaudières *g*, *h*, qui sont en contre-bas du sol, dans la cour U ; c'est également dans cette galerie souterraine que sont placés les tuyaux en tôle qui portent l'air de ventilation à chaque pavillon, ainsi que les tuyaux de vapeur pour le chauffage des salles et ceux de retour d'eau, les tuyaux d'air sont suspendus

au haut de la galerie visible et accessible de toutes parts. Les tuyaux de vapeur et de retour d'eau sont placés dans un caniveau souterrain recouvert à niveau du sol par des panneaux qui permettent la visite et les réparations s'il y a lieu.

2926. Un ventilateur B, fig. 687 et 688, à force centrifuge, dont l'enveloppe a la forme spirale, et qui par sa disposition et sa construction évite tout bruit incommode, aspire l'air neuf par l'intermédiaire du pilier creux *a b* du clocher (fig. 688) et le refoule par l'artère DEF ; il est mis en mouvement à l'aide d'une simple courroie par une machine à vapeur à détente, sans condensation, d'une force variable, et dont la vapeur de fuite est absorbée en toute saison par des chauffages. En hiver et même en été, cette vapeur ne suffit pas à tous les chauffages accessoires de Lariboisière. Tout est disposé pour suppléer à cette insuffisance par des prises directes sur les chaudières, le rapport des vitesses de la machine et du ventilateur est de 1 à 4 ; en marche normale la machine doit faire de 90 à 100 tours par minute. Remarquons qu'il y a un second ventilateur B' pourvu aussi de sa machine à vapeur, mais qu'un seul de ces mécanismes suffit largement en tout temps à la ventilation de ce côté de l'hôpital. Le second appareil avait été indiqué dans le projet de concours, alors que l'hôpital tout entier devait, conformément à la règle de toute bonne administration, être pourvu d'un seul système. Lors de l'exécution réduite, on conseilla à l'administration de conserver cette seconde équipe, comme moyen de rechange ; mais cela n'est point une nécessité avec des machines bien construites.

2927. Lors de l'entreprise soumissionnée par M. Farcot, il avait été admis que les travaux d'appropriation du local, où serait placée la machine ventilatrice, afin de la mettre à l'abri de toute arrivée d'air autre que celle du clocher, seraient à la charge de la construction de l'édifice. Mais rien ne fut fait dans ce but et c'est sur cet état de choses incomplet qu'ont eu lieu les expériences publiées et dont nous parlerons plus loin. Nous avons vu ce que les auteurs du système proposaient de faire à ce sujet, mais ils n'eurent point la faculté de compléter leurs travaux à cet égard. Toutefois on doit à M. Ser d'avoir établi ce complément lorsqu'il devint plus tard ingénieur de l'Assistance publique de Paris ; c'est ainsi que les ventilateurs B et B' ont été enfermés dans une enveloppe hermétique *u,u,u,u* qui n'a de communication qu'avec la gaîne *ab* du clocher par le canal souterrain *s,s,s*.

2928. Trois générateurs timbrés à 5 atmosphères 1/2 sont placés

en *g*,*g*,*g*, avec leur cheminée en A ; à l'origine il n'y en avait que deux qui présentaient ensemble une surface de chauffe d'environ 100^{mq}. Mais on reconnut bientôt qu'un troisième générateur était nécessaire, à raison de l'augmentation donnée au service d'abord prévu de la buanderie, qui dessert non-seulement Lariboisière, mais encore d'autres hôpitaux ; on voit en partie cette buanderie en *kfl*.

2929. Une conduite de vapeur part de la machine et peut recevoir un complément des générateurs. Cette vapeur à faible pression circule dans la galerie souterraine *m m m m*, en donnant un branchement dans chaque pavillon : un tuyau de retour d'eau *o o o* suit le même trajet et aboutit dans le réservoir fermé *n*, placé dans la cave R, derrière les machines. Ce réservoir sert à l'alimentation des chaudières : la pompe alimentaire y reprend les vapeurs condensées, auxquelles on ajoute de l'eau quand il en est besoin. En *t*, *s* on voit les tuyaux de vapeur et le retour d'eau qui desservent la communauté ; *o'*, *o'*, *o'*, sont les calorifères à vapeur de ce bâtiment. Ces mêmes tuyaux ont des branchements qui vont aux bains de vapeur *j* et *q*. La prise de vapeur pour la buanderie est faite directement sur les générateurs : les conduits qui la desservent n'ont pu être figurés. A côté des générateurs est un vaste réservoir d'eau que l'on chauffe à la vapeur pour les bains ordinaires des hommes. Un autre réservoir tout semblable existe de l'autre côté en regard du premier.

Enfin, en S est placée une pompe que le moteur à vapeur met aussi en mouvement, et qui fournit l'eau à l'hôpital. Elle aspire l'eau par une conduite d'environ 300 mètres de long dans l'aqueduc de ceinture du canal de l'Ourcq qui passe derrière Saint-Vincent de Paul.

2930. Suivons maintenant le fonctionnement de l'appareil : nous le prendrons d'abord pendant l'été, parce que c'est le cas le plus simple. L'air pur, pris au sommet du clocher, arrive au ventilateur par l'action aspirante de celui-ci, à laquelle la vitesse naturelle du vent vient en aide. Cet air est ensuite refoulé dans une conduite en tôle D E F, qui est suspendue à la voûte de la galerie souterraine et passe devant chacune des caves existant sous les pavillons.

De cette artère D E F part, au passage de chaque pavillon, un branchement tel que G' G', qui fournit l'air nécessaire à la ventilation de ce pavillon. Chaque branchement se subdivise lui-même en plusieurs répartiteurs pour porter l'air aux trois étages de salles de malades. La coupe horizontale faite dans la cave du pavillon n° 2 montre ce partage de l'air. Le répartiteur G' G' est un tuyau de tôle

suspendu à la voûte de la cave : il fournit en *i*, *i*, *i*, *i* dans le caniveau *z''*, sur lequel les poêles sont placés, l'air de ventilation du rez-de-chaussée.

En *x*, *x*, aux deux extrémités de cette cave, il y a un sous-répartiteur qui fournit l'air à deux gaînes ménagées dans l'épaisseur de chaque mur de refend ; c'est l'air de ventilation du premier étage qui suit ce chemin. Ces gaînes aboutissent à un caniveau *z'* établi dans l'épaisseur du plancher de cet étage et situé en son milieu dans toute sa longueur. Deux autres sous-embranchements *y*, *y* aboutissent à deux autres gaînes logées de même dans l'épaisseur des murs et communiquant avec le caniveau central *z'* exécuté dans l'épaisseur du plancher du deuxième étage, qui reçoit ainsi son air de ventilation d'une manière tout à fait semblable à ce que nous avons vu pour le premier.

2931. Ainsi deux gaînes verticales amènent l'air neuf à chacune des extrémités des salles du premier et du deuxième étage et chacun de ces couples de gaînes alimente deux poêles. Ces gaînes n'avaient pas été établies pour le système de la pulsion ; elles avaient été préparées par l'architecte pour un autre objet. Il a fallu les employer telles qu'elles étaient. Il avait été question de placer au centre de chaque pavillon, et montant de salle en salle une colonne en métal qui y eût porté l'air en évitant des coudes et des résistances, mais l'architecte ne voulut pas de cette disposition peu en harmonie avec sa décoration. Les caniveaux *cc'c''* (fig. 689) qui ont été construits dans l'axe des salles et sur toute leur longueur, pour recevoir l'air neuf et contenir les tuyaux de vapeur et de retour d'eau, n'avaient pas été davantage prévus lors de l'édification du monument ; cette circonstance obligea à en restreindre la section et à réduire l'épaisseur de leurs parois. Les fermes en fer du plancher n'étaient pas disposées pour laisser passer ces caniveaux, elles créaient des obstacles à la liaison des murettes d'une travée à la suivante ; les tassements qui se font toujours dans un bâtiment neuf augmentent encore cette défectuosité. Si le projet de la pulsion avait été arrêté en même temps que celui des bâtiments, ces gaînes et ces caniveaux eussent été de dimensions plus convenables et mieux construits.

2932. Les caniveaux sont en briques, avec un simple enduit en plâtre ; ils sont recouverts par des plaques de fonte qui fonctionnent comme surface de chauffe tout en permettant la visite des tuyaux et le nettoyage des caniveaux eux-mêmes, lequel doit être opéré, au minimum, une fois par an.

2933. Chaque étage contient une grande salle de trente-deux lits, à l'extrémité de laquelle se trouve une pièce réservée où il y a deux lits, comme le montrent les coupes horizontales des pavillons n° 6 et n° 4. Au milieu de chaque salle, et sous son parquet, se trouve donc le caniveau contenant l'air de ventilation. Sur ce caniveau, on a posé dans chaque salle, quatre poêles *z*, *z*, *z*, *z*, vus dans la coupe horizontale du pavillon n° 4 et dans les coupes longitudinale et transversale (fig. 688 et 689).

Ces poêles, traversés dans leur hauteur par douze tuyaux, servent d'orifices principaux d'entrée pour l'air de ventilation. Il y a trois autres bouches d'air. Dans chaque chambre à deux lits est également un poêle qui donne accès à l'air neuf.

Enfin, des branchements partant de l'artère générale donnent la ventilation aux quatre promenoirs, P, P, P, P, dans chacun desquels sont placés deux poêles *r*, *r*, par lesquels entre l'air neuf.

2934. L'air de ventilation débouche dans les salles avec une faible vitesse; on a observé qu'il s'y distribuait régulièrement, quand on prenait soin de régler les valves d'admission, et avec une uniformité incomparablement plus grande que dans la ventilation par appel, dont on avait la comparaison de l'autre côté de l'hôpital.

2935. L'air s'en va de chaque salle par dix-huit gaînes et par une dix-neuvième dans la chambre réservée; toutes sont pratiquées dans l'épaisseur des murs et chacune débouche par deux orifices au parement du mur de la salle de malades. L'un de ces orifices *n*, *n*, *n* (fig. 689) est en bas, près du parquet; c'est la ventouse d'hiver : l'autre, *p*, *p*, *p*, qui se trouve à 2 mètres environ au-dessus, est la ventouse d'été (fig. 688 et 689). L'une et l'autre sont pourvues d'un registre que l'on tient ouvert ou fermé, suivant la saison. Les gaînes de tous les étages aboutissent au grenier; celles du mur de gauche, dans le caniveau *s*, et celles du mur de droite, dans le caniveau *t*. Ces deux caniveaux établis au grenier, dans les bas côtés de la toiture, aboutissent chacun par un coffre posé en leur milieu sous le versant du toit à la cheminée d'évacuation V (fig. 688 et 689), qui est placée au centre du pavillon. Les caves sont libres, ne contenant ni foyers, ni appareils à surveiller : c'est un avantage de ce système sur celui de l'eau chaude et de l'air chaud dont l'emploi obstrue une grande partie du grenier et des caves.

2936. Postérieurement à l'installation première, il a été établi dans la cheminée d'évacuation de chaque pavillon, un foyer de chaleur alimenté par la vapeur de fuite de la machine, afin d'aider à la

sortie de l'air vicié au moyen de l'appel limité (2921). On se trouvait en effet dans les conditions de pression que nous avons signalées alors. La surface de chauffe de ce foyer à température modérée est seulement de 24^{mq} environ, c'est-à-dire à peine un peu plus du quart de la surface de chauffe du foyer d'appel du côté de l'eau chaude ; cette dernière surface de chauffe ne peut pas, cependant, donner en été, par les orifices des poêles, une ventilation comparable à celle qu'on obtient du côté de la pulsion.

2937. En tête de chaque pavillon est un avant-corps qui renferme la cage d'escalier, et, à chaque étage, diverses pièces pour le service, telles que la chambre des sœurs, un office et une salle de bains. La coupe des pavillons n° 4 et n° 6 montre ces salles au premier et au deuxième étage. Dans les offices se trouve un appareil chauffé à la vapeur pour les tisanes, le linge, etc., et le chauffage des bains des salles, plus un foyer à feu nu pour les cataplasmes. En été, toutes les vapeurs de fuite sont, comme nous l'avons déjà dit, complétement utilisées. Il faut même recourir largement à la vapeur des générateurs pour suffire aux chauffages accessoires.

2938. J'ai montré comment l'air de ventilation était aussi pur que possible, dans ce système, par suite de sa prise au haut du clocher. Avec le système de l'appel, on prend l'air dans les cours, dans les caves au contact des murs ou du sol, et quelquefois à proximité de lieux infectés de miasmes.

2939. Il me reste à mentionner un autre avantage de l'idée de prendre l'air à une grande hauteur dans l'atmosphère et que MM. Thomas et Laurens avaient aussi en vue : c'était d'obtenir pendant les chaleurs, de l'air de ventilation à une température sensiblement inférieure à celle des cours, ou des locaux qui environnent les salles à assainir. Le rafraîchissement de l'air de ventilation pendant l'été fut bien souvent demandé ; pour les hôpitaux, il peut avoir des résultats précieux. Aussi nombre d'appareils ont-ils été proposés pour cet objet : ceux qui pouvaient produire l'effet annoncé étaient fondés sur l'emploi de la glace, procédé d'une exécution incommode, et souvent même impraticable, à raison de la dépense qu'il occasionnerait.

On a observé, à Lariboisière, que, pendant les chaleurs de l'été, la différence de température entre l'air pris au clocher et celle de l'air ambiant à l'ombre était d'au moins 4° ; qu'à de certains moments, elle a même dépassé ce dernier chiffre. Ces résultats sont très-importants, et ils trouveront certainement leur application dans nombre d'autres circonstances.

2940. Le général Morin a contesté ces résultats (*Études sur la ventilation*, tome I, page 142) en s'appuyant sur ce que, d'après les expériences de M. Becquerel, les températures de l'air pris en pleine campagne vont en croissant à partir du sol jusqu'à une certaine hauteur. Nous ferons observer qu'il n'y a pas lieu de conclure de ce qui se passe en rase campagne à ce qui doit se passer dans une ville, au milieu d'habitations, où des surfaces étendues sont exposées au soleil dans un espace restreint. La plus grande pureté de l'air est d'abord un fait incontestable quand on le prend à 25 ou 35 mètres au-dessus du sol et de plus à distance des habitations; il est tout aussi évident qu'il devra être plus frais que si on le recueille dans une cour échauffée par la réverbération des murs qui l'entourent ou au parement de façades que le soleil a frappées toute la journée, comme cela se fait pour l'appel à Lariboisière, auprès d'un sol exposé à la même influence. Pour atteindre le double but d'obtenir de l'air frais et pur, il convient donc de prendre l'air en contre-haut des toits et non à la surface de ceux-ci. Le sommet du clocher de Lariboisière se trouvait donc dans les conditions propices à produire l'effet signalé, puisqu'il est complétement dégagé de toutes les constructions de l'hôpital et que de chaque côté les bâtiments de malades sont à 40 mètres de distance. On peut donc être un *physicien instruit* et ne pas admettre que la loi des variations des températures de l'atmosphère, dans une cour, dans une rue, dans un espace confiné, est le même qu'en rase campagne. Les expériences directes que nous avons indiquées plus haut viennent d'ailleurs clore la discussion et prouvent la vérité du fait.

2941. On peut se rendre compte de l'importance du résultat obtenu en abaissant par ce moyen la température de l'air de ventilation, si l'on calcule la quantité de glace qu'il faudrait employer pour obtenir un abaissement de température de 5°.

Prenons 300 malades à ventiler et le chiffre de 100 mètres cubes par malade et par heure; la température de l'air à rafraîchir est de 30°: on veut la ramener à 25°. La quantité de chaleur qu'il faudra absorber par la fusion de la glace, sera représentée par

$$30000 \times 1{,}3 \times 0{,}2377\ (30 - 25) = 46500 \text{ calories.}$$

Un kilogramme de glace absorbe 79 calories pour se fondre, l'eau restant à 0°: cette eau étant elle-même portée à 25°, la quantité de chaleur absorbée par kilogramme de glace serait alors de $79 + 25 =$

104 calories. Mais on ne pourrait compter pratiquement arriver à échauffer autant la glace fondue avant de la perdre. Prenant donc comme maximum 100 calories par kilogramme de glace fondue, nous trouverions encore qu'il en faudrait $\frac{46500}{100} = 465$ kilogrammes de glace pour abaisser de 5 degrés l'air de ventilation de 300 malades. En admettant seulement douze heures de ce rafraîchissement de l'air par chaque jour de chaleur, on arrive à une consommation de 5,600 kilogrammes de glace.

Au prix de 0,05 le kil., la dépense pour ce mode de rafraîchissement s'élèverait à 280 francs par jour. Ce chiffre ne comprend pas les frais de manipulation, ni ceux d'entretien et d'établissement des appareils indispensables. Avec les procédés nouveaux, ce serait $0^{fr},02$ le kilogramme que coûterait la glace, la dépense serait encore de 112 francs, et cette dépense fût-elle moitié moindre, deux ou trois jours seulement d'action réfrigérante, coûteraient autant que l'intérêt annuel du coût d'une cheminée pour l'air neuf.

2942. Les volumes d'air que MM. Thomas et Laurens, par expérience à Lariboisière, ont reconnus utiles pour obtenir une ventilation parfaitement salubre dans un hôpital, sont bien supérieurs à tout ce qui avait été proposé antérieurement. Ils vont à 80 mètres cubes, 100 mètres cubes et plus par malade et par heure, le minimum est de 60 mètres cubes : les salles de chirurgie sont celles qui exigent le plus grand volume d'air ; parfois même il convient d'y atteindre 120 mètres cubes.

2943. Le programme du concours dressé par l'Administration pour Lariboisière, demandait 20 mètres cubes d'air par malade et par heure, avec faculté de doubler momentanément cette quantité. Doubler avec les mêmes appareils un volume d'air un peu important n'est guère praticable qu'à l'aide de la ventilation insufflée, quand toutefois on a eu soin d'installer une machine d'une puissance qu'on peut faire varier.

2944. Si l'accroissement de la ventilation devenait nécessaire, par l'action mécanique il serait toujours possible, au moyen d'un accroissement de travail, facile à réaliser gratuitement dans un hospice par l'utilisation de la vapeur d'échappement de la machine. La prévision de doubler la ventilation n'a plus guère d'utilité avec les grands volumes d'air reconnus nécessaires aujourd'hui : il n'en était pas de même quand on ventilait avec des volumes trop réduits. Mais il est bon de voir à quel prix, dans les deux systèmes de venti-

lation, on peut obtenir l'accroissement d'une ventilation donnée, en supposant le cas où la machine exigerait d'être chauffée spécialement : dans ce cas assez rare, la dépense de combustible croîtrait sensiblement avec le travail, lequel augmente pour la ventilation mécanique comme le cube des volumes d'air insufflés dans les circonstances les plus défavorables : ainsi la dépense de combustible pour des ventilations par pulsion 2 fois, 3 fois plus grandes, serait 8 fois, 27 fois plus grande ; tandis que pour la ventilation par une cheminée d'appel, en supposant la température extérieure de 0°, la température intérieure de 15°, et celle de la cheminée d'appel de 30°, la hauteur de la cheminée de 10 mètres, celle des pièces de 5 mètres, j'ai démontré (2388) que l'on ne pourrait augmenter l'appel que dans le rapport de 1 à 1,55 en portant la température de la cheminée à 273°, c'est-à-dire à celle qui produit le maximnm d'appel, et cela avec une dépense 14 fois plus grande. Les circonstances que j'ai supposées sont celles de l'hôpital Lariboisière, pour la hauteur de la cheminée de M. Duvoir et pour l'élévation de la salle du second étage.

On voit que par l'appel, ou ne pourrait augmenter la ventilation que dans le rapport de 1 à 1,55 et cela avec une dépense presque double de celle qui permettrait de la doubler au moyen de la pulsion. On peut ajouter que l'emploi de l'eau chaude ne permettrait en aucun cas d'obtenir la température de 273° dans la cheminée, ce qui supposerait des pressions absolument inusitées en industrie et dont l'emploi constituerait un danger permanent et considérable.

2945. *Expériences diverses sur le système de la pulsion à Lariboisière.* — Des expériences comparatives ont été faites sur le système de la pulsion et celui de l'appel à Lariboisière ; nous avons déjà indiqué et discuté les résultats qui concernent ce dernier système ; nous allons exposer les résultats trouvés pour le premier.

2946. Il est juste de faire remarquer, avant tout, la différence de situation qui s'est produite, lors des expérimentations, entre les conditions de marche des deux installations : la maison Duvoir, après avoir monté son appareil à Lariboisière, était chargée, pour un prix déterminé par jour, de chauffer les trois pavillons de gauche pendant un assez grand nombre d'années ; d'après ce marché, elle n'avait pas à ventiler pendant l'été ; les agents et chauffeurs étaient tous employés de cette maison, soumis à ses ordres et à ses instructions.

La maison Farcot, au contraire, avait l'entreprise de la pulsion,

mais elle ne s'était chargée ni de la conduite ni de l'entretien des appareils, et les laissait, une fois terminés, à l'Administration de l'Assistance publique qui les faisait fonctionner par ses agents : un mécanicien-chauffeur et des aides. MM. Thomas et Laurens, n'étant entrepreneurs en aucune façon, n'avaient pas même été convoqués pour assister aux expériences de réception des travaux.

Ainsi du côté de l'appel les expériences ne pouvaient se faire à l'insu du constructeur qui, dans certains cas, était même prévenu de tout mettre en état. Il en était tout autrement du côté de la pulsion. Les auteurs du système ne furent présents à aucune des expériences, ils n'eurent pas à faire connaître les travaux complémentaires qu'ils désiraient, ni même à constater si on avait rempli les conditions normales dans lesquelles leurs appareils devaient être établis.

2947. Il en résulte donc que les expériences relatives à l'appel ont été faites dans les conditions les plus favorables au système et qu'il n'en est pas de même pour la pulsion. C'est pourquoi on trouvera inutile de s'arrêter sur ce résultat d'expérience qui constate que le ventilateur ne prend au clocher qu'une quantité d'eau moindre que celle qu'il refoule ; on pourrait, en effet, faire cesser cet état de choses quand on le voudrait. Cette expérience devait simplement être faite une fois pour démontrer à l'Administration qu'il y avait lieu de clore la chambre des ventilateurs ; ce qui du reste a été fait plus tard.

2948. On a constaté aussi que les volumes d'air introduits ne sont pas les mêmes à tous les pavillons et à tous les poêles ; comme il y avait des valves pour régler les débits, il aurait fallu faire ces règlements qui auraient amené la répartition de l'air au degré désiré dans chaque salle avec une approximation impossible à atteindre par l'appel.

2949. On a signalé aussi des différences entre les volumes d'air refoulés et ceux que les poêles écoulent ; ces derniers ne sont pas cependant les seules voies par lesquelles l'air pénètre ; il y a en outre par salle trois autres ventouses dans le parquet ; en plus de ces voies d'accès réguliers, il y en a d'autres qu'une observation attentive aurait fait découvrir : ce sont les *ouvertures accessoires ;* tels sont les joints longitudinaux et transversaux des plaques de fonte qui recouvrent les caniveaux dans toute la longueur des salles, les orifices ménagés dans ces plaques pour la manœuvre des robinets ; les soubassements des poëles qui ne sont pas reliés au plancher par un inutile joint hermétique ; enfin de toute la longueur des salles les

caniveaux en briques, avec simple enduit en plâtre que les tassements des bâtiments sont sujets à fissurer, si on n'y veille. Ces briquetages et les gaînes des murs qui montent d'étage en étage, et sont en parement dans les salles, laissent filtrer de l'air avec une vitesse insensible à l'anémomètre, c'est là une cause de fuite sur une surface de plus de 40 mètres carrés par salle dont personne ne s'est préoccupé. Mais toutes ces fuites que l'on ne peut évaluer que par différence ne sont pas de l'air perdu pour la ventilation, car il pénètre dans les salles.

2950. En construisant un hôpital que l'on voudrait ventiler par pulsion avec chauffage à vapeur, il serait facile d'avoir des accessoires mieux constitués que ceux de Lariboisière.

2951. Nous donnerons, comme nous l'avons fait pour les appareils de l'appel, le résumé des expériences de M. Grassi ; mais nous ne reproduirons pas le détail des chiffres de répartition de l'air donnés par cet expérimentateur, parce qu'ils ont été pris alors que ce règlement n'était pas encore effectué, comme il le remarque d'ailleurs lui-même ; en même temps, il signale combien il est facile d'obtenir la répartition que l'on désirerait, puisque chaque tuyau d'air, chaque branchement, est pourvu de son robinet. Nous donnerons seulement les résultats d'ensemble.

Sous le rapport du chauffage, le relevé des observations thermométriques faites chaque jour pendant l'hiver 1854-55 constate des températures bien supérieures aux 15° exigés par le programme, puisqu'on y voit habituellement les chiffres de 19° et 20°. Ces excédants de température demandés par le service médical, ayant lieu la nuit comme le jour, causent une augmentation notable de consommation comparée à celle qu'on réaliserait en ne chauffant qu'au chiffre réglementaire de 15°, ou en laissant tomber la température au-dessous de 14°, comme il arrivait d'abord si souvent dans le chauffage à l'eau chaude. M. Grassi, ainsi que d'autres personnes, n'ont pas tenu compte de cette circonstance dans leurs estimations de la dépense et leurs comparaisons subséquentes de prix de revient.

2952. M. Grassi s'est ensuite occupé de la distribution de l'air entre les promenoirs et les pavillons. Il résulte de ses expériences que les trois promenoirs reçoivent 2069 mètres cubes d'air par heure, et les trois pavillons 35332 mètres cubes ou, en totalité, 37341 mètres cubes.

2953. Le résumé ci-après résulte des expériences anémométriques de MM. Thomas et Laurens sur l'écoulement de l'air neuf par les di-

vers orifices d'introduction. Après un premier règlement des ouvertures qui a été opéré postérieurement aux expériences de M. Grassi. Les quatre poêles placés dans l'axe de chacune des salles de malades donnent issue à l'air neuf par les douze tuyaux verticaux qui les traversent. Un manchon en tôle, légèrement conique et offrant une section de $0^m,1855$ au point où on plaçait l'anémomètre, était posé, pour l'expérience, sur la grille oblongue dont les poêles, oblongs eux-mêmes, sont recouverts. On observait la vitesse en quatre points de cette section, et la moyenne de ces quatre observations fournissait la vitesse pour le calcul du débit. Les chiffres du tableau correspondent à une vitesse de 88 tours de la machine à vapeur.

	PAVILLON N° 6. (le plus proche de la machine.)			PAVILLON N° 4. (Au milieu.)			PAVILLON N° 2. (Le plus éloigné de la machine.)		
	REZ-DE-CHAUSSÉE. Salle Saint-Augustin.	1er ÉTAGE. Salle Saint-Landry.	2e ÉTAGE. Salle St-Vincent de Paule.	REZ-DE-CHAUSSÉE. Salle Saint-Louis.	1er ÉTAGE. Salle Saint-Jérôme.	2e ÉTAGE. Salle Saint-Charles.	REZ-DE-CHAUSSÉE. Salle Saint-Napoléon.	1er ÉTAGE. Salle Saint-Désiré.	2e ÉTAGE. Salle Saint-Henry.
	mc	mc	mc	mc	mc	mc	mc	mc	mc
Volume total de l'air entrant par les poêles des salles dans une heure..	3176	2460	2332	2902	2778	2385	3218	2575	2869
Volume d'air entrant par le poêle de la chambre à deux lits, les ventouses du passage et des lieux, les poêles du promenoir, et enfin les ouvertures accessoires des caniveaux, évalué par différence.....	1021	1512	1512	1038	1550	1550	935	1264	1264
TOTAL par salle...	4197	3972	3844	3940	4328	3935	4153	3839	4133
Soit par lit et par heure.	123	117	113	116	126	116	122	113	122
Volume mesuré dans le branchement de chacun des pavillons.....	12013			12203			12325		

2954. Cette répartition entre les diverses salles a été faite ainsi avec une certaine inégalité afin de donner plus d'air aux salles de chirurgie et à celles de certains malades. On a toute facilité de

changer complétement cette répartition ; on peut remarquer que dans la répartition présente c'est le pavillon le plus éloigné de la machine qui reçoit le plus d'air ; on remarquera aussi que, pour chaque pavillon, on a mesuré le volume d'air reçu par son branchement particulier, tel que G'G' qui est en tôle et ne perd pas d'air : tout l'air qu'il a reçu passe donc dans les salles, directement par les poêles ou indirectement.

2955. On a vu que l'air de ventilation parcourait, dans l'axe des salles et sous leur plancher, un canal sur lequel les poêles sont simplement posés ; au niveau du parquet, ce canal est recouvert par des plaques de fonte que fixent aux longrines du plancher quelques vis qui sont loin de rendre la fermeture hermétique ; ce manque d'herméticité et d'autres ouvertures aident à la diffusion de l'air qui n'arrive pas dans les salles uniquement par les poêles : ce sont ces issues qu'on a appelées dans le tableau ouvertures accessoires et qui contribuent aux chiffres de la deuxième ligne.

2956. Il est important de remarquer que la régularisation de la ventilation insufflée dans chaque salle n'a pas l'inconvénient que nous avons signalé, quand la ventilation a lieu par l'appel d'une cheminée ; cette régularisation doit toujours se faire en diminuant la surface des orifices qui produisent le plus grand débit ; d'où résulte nécessairement un accroissement de travail pour maintenir la ventilation générale au même point ; mais, quand la ventilation a lieu par un travail mécanique entendu comme celui de Lariboisière, cet accroissement de travail ne coûte presque rien, tandis que quand la ventilation a lieu par l'échauffement de l'air dans une cheminée, l'accroissement nécessaire de travail correspond à un accroissement considérable de dépense de combustible ; car l'appel d'une cheminée augmente très-lentement avec l'accroissement de la température, comme nous l'avons vu (543).

2957. La force que développe la machine à vapeur est ordinairement de 8 chevaux : la pression de l'air au ventilateur est de 20 à 25 millimètres d'eau, suivant la vitesse de la machine. On remarquera que les parcours de l'air et les obstacles qu'il rencontre sont considérables et que néanmoins toutes ces résistances sont vaincues par une faible pression initiale, qui s'abaisserait encore si l'on diminuait les obstacles. Mais il était impossible de les diminuer à Lariboisière. Les ingénieurs ne sont venus que quand le bâtiment était complétement achevé : ils ont dû se servir, pour la répartition de l'air aux divers étages, de gaînes ménagées dans l'épaisseur des

murs pour des cheminées, ou pour tout autre usage ; on ne voulait aucune colonne, aucun tuyau apparent pour porter l'air d'étage en étage. De même le caniveau central, placé sous le parquet des salles, eut une section réduite, parce que la forme des fermes en fer du plancher ne permettait pas de le faire plus grand.

Les résistances à la circulation se sont ainsi considérablement accrues ; on devra tenir compte de cette circonstance quand on voudra comparer Lariboisière à d'autres ventilations, ou se baser sur les dépenses de cet établissement pour d'autres. On ne devra pas non plus conclure que le ventilateur n'a qu'un faible rendement de ce que le travail théorique pour la compression de l'air insufflé est loin d'absorber la force de 7 à 8 chevaux. Ce sont les coudes, les étranglements, les frottements et la pompe de service qui exigent cette force de la machine.

2958. Ce qui précède montre que l'insufflation permet de surmonter les diverses difficultés résultant de constructions déjà existantes ; il suffit d'y appliquer une force motrice plus grande dans ce cas que si l'ingénieur avait été appelé en même temps que l'architecte. Heureusement que dans un hôpital cet excédant de force n'est pas onéreux en dépense journalière, quand on utilise la vapeur de la machine comme à Lariboisière. Mais il y a excédant dans la dépense de premier établissement des machines et de leurs dépendances. Il est évident qu'il serait facile d'éviter qu'il n'y eût d'excédant d'aucun genre en prenant à l'avance les mesures convenables.

2959. On verra dans le tableau que nous reproduisons ci-dessus le résultat des expériences de MM. Trélat et H. Péligot qui furent faites pour la réception des travaux sur le pavillon du milieu.

TABLEAU :

	AIR SORTI PAR HEURE pour 73 tours de la machine		AIR INTRODUIT DANS LA SALLE par heure	
	pour les 19 orifices d'appel.	par lit.	pour les 4 poêles.	par lit.
	mc	mc	mc	mc
Salle Saint-Louis (rez-de-chaussée).	1982	62	2185	68,06
Salle Saint-Gérôme (1er étage).....	2845	73	2186	68,26
Salle Saint-Charles (2e étage).....	1968	62	2136	68,80
TOTAL.....	6293		6509	
Moyenne.....	»	65,7	»	67,71
Moyenne rapportée à 76 tours de la machine.....	»	68,5	»	70,42

2960. En ramenant le volume à 76 tours de la machine pour le comparer aux chiffres de M. Grassi, on a trouvé 70mc,42 d'air introduit par les poêles, par chaque lit, sans tenir compte de l'air fourni par les orifices accessoires et leur ouverture accidentelle, tandis que le volume sorti par les gaînes d'évacuation était de 68mc,50, cette différence s'explique par ce fait qu'avec la pulsion l'air tend aussi à sortir par les ouvertures autres que les gaînes. Si les chiffres de ce tableau diffèrent de ceux du n° 2953, cela tient à ce que la machine n'a pas marché à 88 tours comme dans l'autre cas et aussi à ce qu'on n'a pas tenu compte des rentrées d'air indépendantes des poêles. Le jaugeage dans la cheminée générale d'évacuation du pavillon a donné 6575 mètres cubes, nombre qui s'accorde assez bien avec les chiffres précédents.

Il y a de chaque côté des salles 9 gaînes d'évacuation ménagées dans l'épaisseur des murs ; 9 au nord et 9 au sud ; dans le jaugeage que ces mêmes expérimentateurs ont opéré sur ces gaînes, tantôt c'est une gaîne du nord qui l'emporte sur sa correspondante du sud, tantôt c'est le contraire. Ces gaînes ont toutes d'ailleurs un débit différent. Cela tient certainement aux inégalités de section, aux irrégularités de la surface, quel que soit le système de ventilation adopté, ces gaînes devraient être faites avec un soin particulier, il serait bon de les revêtir d'un enduit stuqué à l'intérieur.

Toutefois, l'évacuation par les gaînes est aussi régulière qu'on pourrait l'espérer en pareille circonstance, quand les fenêtres sont fermées.

2961. Des expériences, faites en avril 1861 par MM. P. Leblanc et Ser, ont donné par lit un volume de 42 mètres cubes d'air entré par les poêles ; la machine avait une vitesse bien inférieure à sa vitesse normale, et on ne tenait pas compte des autres arrivées d'air. Ces chiffres ne peuvent être comparés à ceux que nous avons cités précédemment et, dans tous les cas, ils ne les infirment pas. L'objet particulier de ces expériences paraît avoir été d'examiner l'effet que produirait, dans la cheminée d'évacuation d'un pavillon, l'introduction d'un foyer formé par un certain nombre de becs de gaz, afin d'en accélérer le débit, la température y a été portée à 53°, 55°, 59° ; ce qui correspond à un excès de 41° à 47° sur la température extérieure. La machine à vitesse réduite et le gaz fonctionnant ensemble et la dépense de gaz étant fort considérable (8 mètres cubes par heure), le volume d'air mesuré dans la cheminée s'est élevé à 53 mètres cubes, soit seulement 11 à 12 mètres cubes de plus que ce qui entrait par les poêles. Quand la machine marchait seule, le volume évacué par la cheminée d'appel était de 31 mètres cubes par lit ; il faut donc admettre, dans le cas observé, que le quart de l'air entré dans les salles par les poêles en est sorti par d'autres issues que celles de la cheminée centrale.

Avec le gaz seul on constate 40 mètres cubes par lit dans la cheminée d'appel, la presque totalité de cet air devait provenir, par suite d'un appel assez énergique des joints des portes et des fenêtres, des ouvertures des portes, etc. On n'a pas constaté l'intensité des courants d'air qui se faisaient alors autour de la tête des lits.

2962. En décembre 1860 et janvier 1861, le général Morin reprit ces expériences dans le but de prouver qu'une large part doit être attribuée à l'appel dans la ventilation par pulsion. A cet effet, on a mesuré le volume d'air débité par la cheminée d'un pavillon quand le ventilateur marchait et quand il ne marchait pas. On a fait le rapport des deux chiffres obtenus ainsi isolément, et on a conclu que ce rapport indique la part proportionnelle de l'appel dans cette ventilation, lorsque le ventilateur fonctionne. C'est là une hypothèse gratuite ; rien absolument ne prouve que quand la machine marche, un semblable partage ait lieu.

Une seconde expérience a été faite sur deux poêles d'un pavillon, sans mesurer à aucun moment ce que fournissait le répartiteur GG'

de ce pavillon, alors que la machine marchait ; on a déterminé ce que donnaient ces deux poêles pendant la marche ou l'arrêt de la machine. Le rapport entre les volumes d'air écoulé n'est pas le même que dans l'expérience précédente, il est moins en faveur de l'appel, quoiqu'on ait laissé marcher la machine à des vitesses irrégulières et toujours inférieures à sa vitesse normale.

2963. La conclusion qu'on doit tirer de ces expériences, conclusion qu'on pourrait prévoir *à priori*, c'est que dans certaines conditions de pression ou plutôt de dépression voulue dans les locaux, il ne faut pas négliger le secours que l'on peut demander à l'appel. Et la possibilité des expériences indiquées montre que les auteurs du système n'avaient pas négligé cet auxiliaire, la ventilation naturelle. On conçoit, en effet, que dans l'incertitude où l'on était, lors de cette première application de la pulsion dans un hôpital ; sur la pression qu'on aurait pu exiger, voire même sur l'absence de toute pression dans les locaux, en présence du *tolle* général soulevé quand fut émise l'idée de l'insufflation, on conçoit, disons-nous, que des mesures aient été prises en conséquence dans le projet final ; aussi l'évacuation de l'air vicié s'effectuait de bas en haut par de nombreuses gaînes verticales qui se rendaient directement au grenier de chaque pavillon dans deux grands canaux horizontaux du milieu desquels partait une manche en pigeonnage qui aboutissait à une cheminée unique. Le général Morin dit que rien ne serait plus facile que d'accroître à peu de frais l'action d'aspiration de cette cheminée. C'est ce qui a été fait plus tard, comme nous l'avons dit, afin d'être à l'abri de l'action du vent, de régulariser le débit des gaînes d'évacuation et d'obtenir dans les salles une différence de pression sensiblement nulle avec la pression extérieure ; mais il importe que cet appel auxiliaire soit facile à régler et à modérer afin qu'il ne dépasse pas la limite que l'on doit lui fixer ; autrement, il vicierait le système et servirait à provoquer de toutes parts des rentrées de l'air extérieur qui se substitueraient d'une façon nuisible à une portion de l'air de pulsion.

Il n'en est pas moins évident qu'on peut se passer de cet auxiliaire, qui peut, dans certains cas, donner plus qu'on ne lui demande, pour ventiler des locaux habités, qui, convenablement disposés, fourniront, avec la pulsion, un certain excès de pression sur la pression extérieure.

2964. Une particularité de la ventilation par pulsion qui doit attirer l'attention, c'est que l'ouverture d'un certain nombre de fenê-

tres n'influe pas défavorablement sur le débit dans la salle et ne modifie que peu la répartition de l'air. Ce résultat était attendu; mais on en trouve la constatation dans les expériences de M. Grassi. Ainsi dans une des salles on a pris quatre croisées qui se correspondent, deux sur chaque face : portes et fenêtres fermées, le volume d'air vicié écoulé par la gaîne située entre deux de ces fenêtres était de 222 mètres cubes par heure. Après l'ouverture des deux croisées entre lesquelles se trouve la gaîne, la dépense de celle-ci était de 162 mètres cubes. Les deux croisées en face étant en outre ouvertes, cette dépense descendit à 158 mètres cubes; enfin, en fermant les deux croisées voisines, et ne laissant ouvertes que les deux en face, la dépense remonta à 165 mètres cubes. Évidemment l'air qui ne sortait plus par la gaîne s'écoulait par les fenêtres ; mais on voit que, dans la circonstance la plus défavorable, la gaîne emportait un fort volume d'air, loin de laisser descendre dans la salle de l'air vicié.

2965. Dans une des expériences faites, il est arrivé que, lorsqu'un nombre plus ou moins grand de fenêtres ont été ouvertes dans la salle, certaines gaînes, situées près de ces fenêtres, ont donné lieu à un retour d'air vicié; ce fait n'est pas constant, puisque M. Grassi avait constaté le contraire dans ses expériences. Si cependant il n'était pas dû aux circonstances de pression de l'air et de vitesse de la machine dans lesquelles on opérait, la seule conséquence qu'il y aurait lieu d'en tirer serait qu'il faudrait prendre soin, quand on ouvre des fenêtres, de fermer les gaînes d'évacuation qui sont à leur proximité, au moyen des registres dont les gaînes sont fournies, l'entrée de l'air poussé à travers les poêles n'en serait nullement modifiée, et cet air ne pourrait séjourner dans la salle par suite même de l'accroissement des orifices de sortie qui lui serait fourni par l'ouverture des fenêtres ; tout cela serait facile puisque, dans un hôpital, les fenêtres ne doivent être ouvertes que par des gens de service.

2966. A Lariboisière, la ventilation insufflée marche de jour et de nuit avec la même intensité; de plus, elle fonctionne avec la même énergie en toute saison. La ventilation par appel n'est pas astreinte à cette permanence de l'autre côté de l'hôpital, ce qui diminue notablement la consommation en charbon qu'on lui attribue par malade ou par lit.

2967. Le service de la buanderie, qui dessert non-seulement Lariboisière mais d'autres hôpitaux, est en pleine activité en été et

en hiver; à lui seul il exigerait la présence des chauffeurs et d'un puissant générateur, et le service alimentaire. Le service de l'appareil ventilant, proprement dit, n'est par comparaison avec le sien qu'un accessoire. Nous rappellerons que le moteur de cet appareil donne aussi le mouvement à la machine qui élève l'eau pour l'hôpital; s'il n'existait pas pour la ventilation, et que celle-ci fût effectuée par appel, ce moteur n'en eût pas moins été installé ; seulement il eût été plus faible.

2968. La ventilation insufflée offre aux administrations un moyen de contrôle assuré ; en effet, il suffit d'appliquer un compteur à la machine, après avoir vérifié par des expériences anémométriques les volumes d'air qu'elle fournit par tour de volant. Le nombre de révolutions constaté leur garantit le volume d'air produit. Jusqu'ici, il n'y a pas pour une ventilation d'autre moyen de contrôle qui soit à l'abri de l'erreur.

A Lariboisière, il y a un compteur sur le ventilateur.

2969. On voit en H (fig. 687 et 688) la fosse d'aisances d'un pavillon qui est ventilée par le canal *u u*.... aboutissant à une gaîne que parcourt la cheminée à feu nu de l'office du rez-de-chaussée. Cette ventilation avait réussi ailleurs à M. Grouvelle qui en était chargé à Lariboisière ainsi que des offices ; elle a laissé à désirer dans ce cas ; les lieux d'aisances ne présentent aucune disposition à recommander ; ils ont été construits dans le système le plus ancien ; il est difficile de les avoir en état ; ils ont, dans un certain temps, donné de l'odeur dans les salles.

2970. Il me reste à expliquer le service d'hiver qui joint le chauffage à la ventilation.

Le fonctionnement de la ventilation est absolument le même qu'en été, à cette différence près que l'air est échauffé avant de pénétrer dans les salles. La vapeur sert à ce chauffage de l'air et aussi à celui des salles par rayonnement.

2971. Dans le projet du concours, le chauffage des salles se faisait par des poêles à eau chaude de M. Grouvelle, chauffés à la vapeur ; ils devaient fournir toute la surface rayonnante. A l'exécution, MM. Thomas et Laurens, qui craignaient les inconvénients de l'eau chaude et la difficulté qu'elle présente à faire varier promptement le chauffage comme cela est nécessaire dans notre climat, si l'on veut obtenir dans les salles une température constante, donnèrent une certaine part d'action directe à la vapeur.

Le caniveau qui parcourt l'axe de chaque salle, sous son parquet,

et contient l'air de ventilation, renferme aussi un tuyau de vapeur et son tuyau de retour d'eau ; ce caniveau fut recouvert sur toute sa longueur par des plaques de fonte, que ces tuyaux échauffent. A leur passage sous les poêles, les tuyaux de vapeur et de retour d'eau envoient un branchement à chaque poêle ; mais chaque poêle étant muni de deux robinets, il est facile de supprimer tout passage de la vapeur dans les poêles. L'air de ventilation se chauffe au contact des tuyaux placés dans le caniveau central ; il entre dans la salle en traversant les poêles. Cet air sort des poêles à la température de 30 à 35°. On peut régler le chauffage des poêles d'après la température extérieure et même en supprimer l'action ; dans les jours peu froids, il suffit de donner de la vapeur au premier poêle, c'est-à-dire à celui qui est à proximité de la porte d'entrée, sur le vestibule.

2972. La disposition des poêles de MM. Thomas et Laurens diffère de celle usitée auparavant dans les chauffages à l'eau chaude ; ces poêles sont bien moins encombrants pour la circulation et la vue, à cause de la forme méplate et peu élevée qui leur a été donnée. Ils sont en tôle et en fonte et traversés dans leur hauteur par douze tuyaux droits de $0^m,12$ de diamètre intérieur que parcourt l'air de ventilation ; il n'y a aucun serpentin de vapeur ; celle-ci afflue simplement dans le soubassement en fonte.

2973. Chacun des quatre promenoirs P, P, P, P (fig. 687) contient deux poêles méplats semblables à ceux des salles et placés comme eux sur le canal de ventilation qui contient aussi les tuyaux de vapeur et de retour d'eau. L'air de ventilation des promenoirs sort par ces poêles en toute saison. Enfin la cage d'escalier et le vestibule de chaque pavillon sont chauffés par un poêle cylindrique à eau et à vapeur posé au rez-de-chaussée, en O, O, O. Aucun accès d'air neuf ne s'opère par ces poêles.

2974. La vapeur qui sort de la machine ne suffit pas, en hiver, au chauffage des salles, puisque les autres chauffages que l'été exige aussi, subsistent toujours. Alors on y joint de la vapeur prise directement sur les générateurs. Cette addition s'opère dans l'artère générale de vapeur, au moyen d'une buse qui fait un jet dans la direction du courant établi. Un robinet règle la pression initiale de cette vapeur additionnelle, de façon à ne pas augmenter la contre-pression derrière le piston.

Ainsi, c'est toujours de la vapeur à basse pression, et forcément à basse pression, qui pénètre dans les salles et dans les appareils

qu'elles contiennent. Quand les poêles à eau chaude fonctionnent à Lariboisière, ils se trouvent dans des conditions particulières, favorables à la sécurité, puisqu'ils sont forcément à basse pression.

2975. La facilité que présente la vapeur, aussi bien à basse qu'à haute pression, d'augmenter ou de diminuer la température des salles, a permis de reconnaître celle qui convenait le mieux à un hôpital. Dans tous les programmes, on trouve indiquée la température de 15° en hiver, comme celle à fournir. Mais, en général, cette température est trop faible pour des salles de malades. A Lariboisière, on ne saurait évaluer à moins de 20° la température moyenne de l'hiver dans les salles de la ventilation insufflée, où le service médical a la faculté de chauffer autant qu'il le souhaite ; il y a même des moments où l'on veut davantage. Dans les salles chauffées à l'eau chaude par circulation, la température arrivait à peine à 15° dans le principe, et encore ne pouvait se maintenir en même temps à ce chiffre dans toutes les salles d'un même pavillon : la moyenne de l'hiver était au-dessous de 15°. A cette température, on se plaint déjà du froid. Il est certain que, dès qu'on établit une ventilation dans une salle, il faut y élever la température plus haut que si l'on ne ventilait pas du tout.

L'augmentation à 19° et 20° de la température des salles, fixée à 15° par le programme, a une influence très-marquée sur la consommation de charbon. Ainsi, pour élever de 3° la température des salles, il faut augmenter la consommation de charbon dans le rapport de 3 à 4 environ, soit un tiers, la température moyenne de l'hiver étant supposée de + 6° à l'extérieur.

C'est là un fait très-important, qu'il ne faut pas oublier quand on parle des consommations, et surtout quand on compare celles d'un hôpital, ou d'un système, à celles d'un autre lieu ou d'un autre procédé. Il a échappé à tous ceux qui ont publié des appréciations des consommations. En particulier, on ne peut admettre le mode d'appréciation de M. Grassi pour déterminer la consommation relative du système de la pulsion à Lariboisière, parce qu'il est sujet à de trop grandes erreurs. J'ai indiqué, pour estimer la dépense du chauffage, des données incontestables, en dehors desquelles on ne peut rien établir d'exact. Pour le chauffage, de quelque manière qu'il soit exécuté, la dépense, pour obtenir une température voulue, sera toujours à très-peu près la même dans tous les systèmes, parce que la quantité de chaleur à fournir est exactement égale à celle qui passe à travers les vitres et les murailles : et si elle devait être

moindre, ce serait probablement avec la vapeur qui l'effectue à l'aide d'un seul foyer plus facile à bien conduire que plusieurs foyers répartis dans les différentes parties d'un établissement.

En supposant que l'effet utile du combustible soit identique dans les deux cas, et en admettant les chiffres de 14° et de 18° observés par M. Grassi pour températures de salles chauffées à l'eau et à la vapeur, on déduit d'une manière certaine que pour les salles chauffées à la vapeur la dépense en charbon doit nécessairement être plus élevée dans le rapport de 18 — 6 à 14 — 6; c'est-à-dire de 12 à 8.

2976. En présence de l'excès de dépense qui résulte du chauffage des salles à 19° et 20°, dans le système de la ventilation insufflée, on est conduit à se demander pourquoi on ne chauffait souvent qu'à 14° et 15° avec l'autre système; ces raisons sont que la température doit augmenter à mesure que la ventilation devient plus active, plus effective, que l'évaporation cutanée est plus forte; de plus avec le premier système non livré à un entrepreneur, les médecins et les sœurs font chauffer au degré le plus convenable pour les malades, tandis qu'avec le deuxième, l'entrepreneur du chauffage et de la ventilation, dont le marché, à tant par jour, fixait la température à 15° au maximum, se tenait toujours au-dessous de cette limite malgré les plaintes souvent réitérées de tous, malades et médecins. Si le chauffage à l'eau était à la disposition du médecin, comme celui de la vapeur, il occasionnerait une plus grande dépense, et tout au moins la même dépense, quoique accompagné d'une ventilation moins efficace.

2977. Si l'on voulait apprécier la dépense en charbon pour le chauffage à la vapeur et la ventilation insufflée de Lariboisière, il faudrait remarquer que les générateurs fournissent de la vapeur en même temps pour ces usages et pour d'autres. On ne peut prendre sans examen les chiffres de la comptabilité, parce qu'ils englobent tous les services fort divers de l'hôpital, et pour avoir la consommation de chacun d'eux, des expériences spéciales seraient indispensables.

On a bien reconnu au dynamomètre que la force utile pour produire la ventilation était de 7 à 8 chevaux; cette force serait-elle de 10 et même de 12 chevaux, qu'elle n'occasionnerait encore aucune dépense sensible de combustible, puisque, pour 12 chevaux, par exemple, il ne faudrait brûler que 25 à 30 kilogrammes de houille par heure et que cette quantité ne suffirait pas encore pour le service des offices et celui des bains de l'hôpital, s'il était effectué par

de la vapeur prise directement aux générateurs. On a donc réglé les robinets de vapeur de manière à pourvoir tant à ce service qu'aux divers chauffages, en faisant passer par la machine toute la vapeur dont on a besoin. La consommation apparente de cette dernière pourrait donc être supérieure aux consommations ordinaires et à de certains moments plus forte que dans d'autres, sans que pour cela on fût admis à poser comme un fait, que la ventilation dépense telle quantité de charbon observée et supérieure à la quantité qu'exige une machine de 8 chevaux dans les conditions usuelles. Il ne faut pas perdre de vue que la vapeur même strictement nécessaire au fonctionnement économique de la machine, ou le charbon qui la produit, ne sont pas dépensés par la ventilation insufflée, puisque la vapeur de la machine est entièrement utilisée, aussi bien l'été que l'hiver, à des chauffages de première nécessité dans un hôpital. Il n'y a de consommé par la ventilation que la perte de chaleur qui a lieu dans le passage de la vapeur dans une machine. Cette perte ne s'élèverait pas, d'après les expériences de M. Regnault, à 2 p. 100 ; elle est en réalité notablement plus grande et très-variable d'ailleurs avec la pression initiale de la vapeur ; pratiquement tous les manufacturiers qui possèdent des machines sans condensation, dont ils utilisent la vapeur, trouvent que l'utilisation de la vapeur les couvre presque de la dépense en combustible.

2978. La buanderie de Lariboisière, à elle seule, exige toujours une quantité de vapeur beaucoup plus grande que celle qui serait nécessaire pour la mise en mouvement de la plus mauvaise machine à vapeur ventilante, et si les autres services n'absorbaient pas la totalité de la vapeur d'échappement de la machine qui conduit le ventilateur et les pompes, cette buanderie l'absorberait bien et au delà.

2979. On serait également conduit à se livrer à des appréciations puisées dans la pratique industrielle, pour trouver la dépense en personnel et en entretien, à cause de la pluralité des services réunis à la ventilation. Il est évident d'abord que le personnel serait le même si l'hôpital tout entier était monté d'après le système ; le fait du partage a donc doublé ces charges : puis ce personnel, presque au complet, serait déjà nécessaire pour une buanderie à vapeur aussi considérable que celle de Lariboisière. Les soins à donner à la machine sont loin d'être proportionnels à sa puissance ; du moment où l'installation d'une machine était nécessaire pour le service de l'eau et de la buanderie, les frais généraux ne sont pas augmentés par son

application au ventilateur. L'entretien des appareils de chauffage à la vapeur est peu coûteux et n'exige pas une grande attention. Les appareils à circulation d'eau chaude demandent plus de soin, car leur rupture, si elle avait lieu, occasionnerait de très-graves accidents. Comme ils sont d'ailleurs sujets à des obstructions et à une usure assez grande que l'on n'a pu ni prévenir, ni bien expliquer, ils obligent à de la surveillance et à des réparations importantes assez fréquemment.

2980. Si en dressant le projet d'un hôpital, on pensait à son chauffage et à sa ventilation par pulsion, on diminuerait beaucoup les frais d'installation de ces travaux si nécessaires à la salubrité qu'ils devraient être regardés par l'architecte comme la chose capitale de son projet. Il arriverait même à réduire la capacité que l'on donne à chaque malade dans une salle et par suite la dépense en bâtiments. Autrefois qu'on ne savait pas ventiler, la grandeur de cette capacité était, pour l'architecte, de la salubrité ; mais avec un mode de ventilation sûr, cette capacité peut être considérablement réduite et ramenée à ce qui est nécessaire au service : c'est une considération qu'il est utile de faire valoir auprès de l'administration, car elle lui permettrait d'économiser sur les constructions et leur décoration architecturale, ce qu'elle aurait à dépenser en appareils, et plus même, si l'on se reportait à de certains exemples, tels que celui de Lariboisière.

Les hôpitaux ainsi établis seraient salubres, tandis que, sans ventilation, les hôpitaux monumentaux ne le sont pas plus que les plus dépourvus d'aspect architectural.

2981. La nouveauté de la ventilation par pulsion m'a conduit à insister sur ce procédé, qu'il importe de faire connaître. Ce sera compléter cet exposé que de mentionner les principales objections qui retardèrent ou amoindrirent sa première application et qui se sont en partie renouvelées depuis.

2982. On avait prétendu que la vapeur ayant un long trajet à parcourir pour arriver à des salles si éloignées des machines, il se ferait des condensations considérables, qui gêneraient la circulation au point d'empêcher ou au moins de diminuer le chauffage. D'abord, des précautions ont été prises contre les condensations inutiles ; mais l'expérience a prouvé que cette objection était sans valeur. On le conçoit dès qu'on pense à la vitesse d'écoulement de la vapeur, même à de très-faibles pressions.

2983. On a dit aussi que, quand on met en train un chauffage à la

vapeur, il y a des chocs dans les tuyaux et des bruits incommodes ; il y a lieu de faire remarquer que d'habitude le chauffage n'est pas intermittent dans un hôpital ; d'ailleurs, en cas de cessation et de reprise, il faut agir comme on le fait dans les usines, ne pas donner tout d'abord la vapeur en plein, puis se servir des robinets souffleurs, des robinets de purge, disposés de côté et d'autre à Lariboisière; c'est aux agents à se conformer à cette règle de service.

2984. On a encore objecté que les chaudières à vapeur sont sujettes à explosion. Or ces chaudières sont toujours à grande distance des malades, et cet accident, qui devient de plus en plus rare, n'aurait que des conséquences restreintes. Les poêles à eau chaude à haute pression, tels qu'ils existent dans l'appareil Duvoir, sont un danger bien autrement redoutable; on sait, en effet, qu'ils peuvent faire explosion, et comme ils sont placés au milieu des salles de malades, la rupture d'un seul d'entre eux aurait des effets désastreux.

2985. Les poêles à eau à basse pression ne sauraient faire explosion ; si, par un défaut de construction, l'un d'eux venait à se déchirer, comme cela est arrivé, il n'y aurait qu'un écoulement d'eau à une température inférieure à celle de l'ébullition.

2986. Le général Morin, qui n'est pas favorable à l'emploi de la vapeur comme chauffage, ajoute un autre reproche aux précédents. « Les chaudières sont, dit-il (*Études sur la ventilation*, t. II, p. 69), placées dans l'intérieur des bâtiments et particulièrement dans les caves, ce qui est leur emplacement naturel dans les bâtiments habités qui ne sont pas des ateliers; les maçonneries de voûte, les charpentes, etc., sont attaquées par l'action de la vapeur. C'est entre autres exemples ce qui est arrivé à l'hôpital Lariboisière. » On sait que les règlements de police défendent absolument de placer les chaudières à vapeur sous des voûtes ni dans des locaux habités dès qu'elles dépassent des proportions infimes. Aussi celles de Lariboisière qui présentaient 100$^{m^2}$ environ de surface de chauffe n'ont-elles jamais été dans une cave voûtée. Il est toujours possible, surtout quand on construit un hôpital, un théâtre, etc., de trouver un emplacement en plein air pour les chaudières, comme on le voit à Paris à Lariboisière, à l'hospice des vieillards à Issy, au nouvel Hôtel-Dieu, à l'hôpital nouveau de Ménilmontant, à Vienne (Autriche) au grand Opéra, etc. Il y aurait lieu d'avoir des inquiétudes plus sérieuses au sujet des chaudières à eau et à haute pression du

chauffage à l'eau chaude, lesquelles sont établies dans les caves de chaque pavillon à Lariboisière.

2987. On a dit encore que le ventilateur ne pousserait pas l'air jusqu'aux salles éloignées, et que, dans tous les cas, une portion notable de l'air se perdrait en route. La pratique des usines métallurgiques où l'air insufflé parcourt dans des tuyaux en tôle, comme ceux de Lariboisière, des trajets beaucoup plus considérables, sans aucune perte de ce genre, prouve la non-valeur de cette objection. L'installation de plusieurs ventilateurs, répartis en différents points, serait une disposition plus coûteuse et moins pratique que celle d'une seule machine ventilante.

2988. On avait aussi prétendu que, quand on ouvrirait les fenêtres, l'air, prenant pour sortir la voie la plus facile, s'échapperait en masse par cette ouverture nouvelle, ne passerait plus par les canaux d'évacuation et qu'une partie de l'air vicié qui a déjà commencé à monter dans les gaînes, en redescendrait pour pénétrer de nouveau dans les salles, au grand détriment des malades. Quand on ouvre une fenêtre, on augmente la somme des orifices de sortie ; la vitesse d'écoulement par la gaîne diminue par conséquent, mais elle ne devient jamais nulle et ne change jamais de signe, comme l'indique le simple raisonnement et comme le prouve l'expérience. L'ouverture des fenêtres ne saurait modifier cet état de choses que dans le cas où, pendant l'hiver, on aurait réglé les registres des ventouses d'évacuation de manière à obtenir une dépression sensible ; elle annulerait alors évidemment l'effet de ce règlement, c'est-à-dire la dépression.

2989. La Commission des architectes de la ville, que le préfet de la Seine consulta, parmi les objections qu'elle fit au projet, donnait la suivante, dont elle faisait grand cas : en prenant l'air au clocher, le bruit des machines, celui des ventilateurs et celui des cloches se transmettraient dans les salles par les tuyaux qui conduisent l'air et y affecteraient péniblement les malades. L'expérience a également fait justice de ces erreurs ; dans la salle Saint-Augustin, qui est la plus proche des machines, on ne les entend ni de jour, ni de nuit. A plus forte raison plus loin, dans les autres salles, où les tuyaux de ventilation pourraient seuls transporter le bruit ; ce qui du reste n'était pas admissible.

2990. La faveur si peu fondée, dont jouissait vis-à-vis des administrations publiques, auprès desquelles l'opinion de certains savants l'appuyait obstinément, le procédé du chauffage par circulation de

l'eau chaude avec ventilation par appel, a permis à ce dernier système une lutte prolongée qui a donné lieu à des mémoires, à des brochures remplies d'assertions aventurées ou fausses, qui ne méritent pas d'être réfutées.

2991. *Frais d'installation et d'entretien du chauffage et de la ventilation à Lariboisière.* — Nous terminons l'exposé des deux systèmes en usage dans cet hôpital par l'examen des frais de premier établissement et d'entretien qu'on attribue à l'un ou à l'autre système dans certaines publications.

On a cherché à établir un prix de revient comparatif du mètre cube d'air de ventilation obtenu dans le cas de l'appel ou de la pulsion, et peut-être n'a-t-on pas tenu compte d'une façon complète des différents éléments de cette comparaison.

Quant à la question du prix d'établissement il eût été nécessaire et équitable de remarquer que les deux systèmes avaient été établis dans des conditions bien différentes. En ce qui concerne l'appel, l'architecte de l'hôpital, dès avant 1848, comptait sur l'installation des appareils Duvoir, et les choses avaient été disposées en vue de la réalisation de ce système, et l'application en devenait dès lors plus facile et moins coûteuse ; de plus l'entrepreneur des travaux, exercé à la pratique des appareils, avait intérêt, dans la situation particulière qui lui était faite, à réduire ses prix pour la construction et le service journalier. Il n'en était pas de même pour le système de la pulsion, dont on faisait une première application à l'hôpital Lariboisière et qui dut s'installer après coup, dans une construction déjà faite et qui n'était pas disposée à le recevoir. Il n'est pas douteux que des installations ultérieures faites, en profitant de l'expérience acquise, n'eussent été plus économiques, et, dans tous les cas, ce système n'eût pas eu à supporter les faux frais provenant de démolitions, de percements de murs, de raccordements, etc., si l'on avait disposé l'édifice en vue de son installation.

Il y avait donc, lorsqu'il s'agissait d'établir une comparaison définitive des deux systèmes, un aléa difficile à estimer peut-être, mais dont le système de l'appel devait nécessairement profiter.

2992. Quant au prix de revient du mètre cube de l'air de la ventilation, les chiffres qui ont été fournis paraissent devoir subir des modifications considérables si l'on se reporte à ce qui se passe actuellement dans l'hôpital Lariboisière. Il ne faut pas oublier d'ailleurs que, lors des expériences faites, l'entretien, les frais de personnel, la fourniture de charbon, étaient pris à forfait, *à tant par jour*, par

l'entrepreneur, tandis que du côté de la pulsion, l'administration fournissait le charbon à ses chauffeurs et que les choses marchaient sans surveillance intéressée. Il y avait donc là des conditions complétement différentes, toutes au désavantage du système de l'appel; on peut ajouter que des expériences comparatives ne peuvent donner de résultats légitimes qu'autant qu'on prend le même élément de mesure pour les dépenses de même ordre; c'est ce qui n'arrive pas dans le cas de la comparaison que fait M. Morin des prix de dépenses d'entretien des deux systèmes, quand il prend pour base de son évaluation les dépenses qu'il suppose réellement faites quand il s'agit de la pulsion, tandis que dans le cas du système de l'appel il accepte, comme dépenses vraies et sans les contrôler autrement, le prix payé à l'entrepreneur pour l'entretien.

2993. Si l'on considère ce qui se passe depuis la cessation de l'abonnement Duvoir, on aura sans doute des conditions d'appréciation plus comparables.

Actuellement le personnel qui était antérieurement employé uniquement à la pulsion fait aussi le service de l'appel, ce qui diminue la moitié des frais portés de ce chef par la pulsion, une autre diminution doit aussi être accordée à ce dernier à cause de la buanderie qui est considérable à Lariboisière. Eu égard aux consommations en combustible, il est un élément dont les expérimentateurs n'ont pas tenu compte dans l'examen des prix de revient; ce n'est pas seulement la quantité du combustible qu'il importe de considérer, mais encore la qualité, car le dernier élément fait varier considérablement le prix du combustible employé. Or, dans les appareils Duvoir, on ne peut brûler et on ne brûle en effet que de la *gaillette*, tandis que sous la chaudière à vapeur de la pulsion, on ne brûle que du *tout-venant* de qualité fort ordinaire, comme dans les usines. Le charbon se payant en raison de sa valeur comme combustible, il y a un rapport marchand à peu près constant entre le prix de la gaillette et celui du tout-venant ordinaire, en charbons maigres, employés ordinairement à Paris; ce rapport est de 1.55 à 1.

2994. D'après le général Morin (page 542, tome Ier), le relevé des livres de la maison Duvoir avait fourni, comme consommation annuelle du côté de l'appel, 233740 kilogrammes de houille dont on ne spécifie pas la sorte; il est intéressant de rappeler que l'abonnement de l'entrepreneur l'exonérait de toute ventilation de jour pendant l'été, c'est-à-dire pendant les cinq ou six mois pendant les-

quels on ne chauffe pas et pendant lesquels la ventilation est la plus coûteuse.

2995. La consommation annuelle moyenne de l'appel est de 312000 kilogrammes de gaillette, alors qu'on ne ventile ni le jour ni la nuit pendant six mois de l'année. Pour comparer ce chiffre à celui de la pulsion, il faudrait y ajouter le charbon qu'exigerait la ventilation de jour et de nuit pendant les mois où l'on ne chauffe pas; ce complément a été trouvé égal à 52000 kilogrammes de gaillette, soit un total de 364000 kilogrammes.

2996. Mais il y a encore un autre complément à ajouter pour établir la comparaison entre l'appel et la pulsion et qui provient de ce que, dans les salles chauffées à l'eau chaude, la température est toujours de 3 à 4° inférieure à celle des salles chauffées à la vapeur, quoique, depuis la cessation de l'abonnement, on ait poussé le chauffage de façon à maintenir cette température entre 17° et 18°. Pour élever cette température à 20° ou 21°, comme du côté de la vapeur il faudrait, comme nous l'avons fait voir n° 2975, augmenter la consommation de l'hiver d'un tiers environ, la température moyenne de cette saison étant estimée à + 6°, ce serait donc de ce chef, 80300 kilogrammes de gaillette à ajouter aux 364000 déjà obtenus, ce qui donnerait 444300 kilogrammes. De plus, pour comparer la dépense à celle de la pulsion, il faudrait convertir au point de vue du prix cette gaillette en *tout-venant*, ce qui fournirait le chiffre moyen de 688000 kilogrammes durant les années 1872, 1875, 1876.

2997. D'un autre côté, la consommation du côté de la pulsion, y compris tous les services de l'hôpital, a été de 939390 kilogrammes de tout-venant ; de ce chiffre, pour le comparer au précédent, il faut défalquer ce qui ne sert pas au chauffage et à la ventilation. Il y a d'abord le service de la buanderie ; d'après une expérience directe faite en 1857, en appliquant exclusivement l'un des générateurs à ce service, elle a été trouvée de 38,50 p. 100; cette expérience fut faite pour montrer à l'administration la nécessité de mettre une troisième chaudière. Depuis cette époque la consommation a un peu diminué, et elle varie de 38 à 30 p. 100; en moyenne, il faudrait donc pour le service de la buanderie 319392 kilogrammes de tout-venant. Viennent ensuite les bains d'eau et de vapeur qui emploient encore une quantité considérable de combustible qu'il est à peu près impossible de déterminer directement, mais dont on peut faire une évaluation approchée ; on donne 18000 à 20000 bains par an à Lariboisière. Si on y applique la consommation faite à l'hôpital

Saint-Louis et qui dépasse $2^k,5$ par bain, on trouve pour 19000 bains 47500 kilogrammes de charbon. Reste enfin à déduire le chauffage de la communauté encore assez difficile à établir ; mais on sait que l'administration alloue par année, dans les hôpitaux où il n'y a pas de chauffage général, trois stères de bois à chaque sœur ; or la communauté de Lariboisière comptant 27 sœurs recevrait 81 stères de bois de chauffage, représentant 13000 kilogrammes de houille, chiffre inférieur à celui qui doit être réellement consommé, si l'on considère l'étendue du chauffage exécuté à la communauté de Lariboisière. En réduisant ce chiffre primitif dans les conditions que nous avons indiquées, il reste pour le chauffage à la vapeur et la ventilation par la pulsion. . . . . 559 498 kilogrammes.

Or la consommation en tout-venant pour l'appel a été trouvée de. 688 600

Dépense en plus pour l'appel. . . . . 129 102 kilogrammes.

2998. On voit donc que les résultats que fournit l'examen des conditions réellement pratiques et similaires de la marche de l'appel et de la pulsion à Lariboisière, donnent des nombres bien différents de ceux auxquels arrive le général Morin, qu'il indique dans ses *Études sur la ventilation*, page 544, tome Ier, et d'après lesquels le chauffage à l'eau chaude ne dépense guère en houille, par an et par lit, que la *moitié* de ce que demandent la pulsion et la vapeur.

2999. Les expérimentations et évaluations officielles faites sur le chauffage et la ventilation à Lariboisière avaient eu lieu à l'occasion du choix à faire entre les divers modes connus pour ventiler et chauffer les nouveaux théâtres de Paris. Il est résulté de ces travaux comparatifs que la pulsion et le chauffage à la vapeur ont été exclus de ces édifices, et que la ventilation par appel avec calorifères à air chaud leur a été appliquée. On sait que ces ventilations ont laissé à désirer et qu'elles n'ont certainement pas réalisé les promesses qui avaient été faites. Malgré l'espèce de condamnation portée sur la méthode de la pulsion, elle a survécu, et nous l'avons vue employée avec succès à l'étranger en même temps que le chauffage à la vapeur. C'est ainsi que le théâtre de la Monnaie à Bruxelles et l'Opéra de Vienne ont été ventilés d'après ces principes, et l'on sait combien ce dernier surtout semble, de l'aveu de tous, avoir satisfait à tous les *desiderata* du problème.

Quelques autres hôpitaux de Paris.

3000. On a tenté, en 1855, de faire quelques applications partielles de la ventilation par pulsion dans certains hôpitaux de Paris, mais dans des conditions peu propres au succès. Une Compagnie qui s'était formée pour entreprendre la ventilation par appel en se servant d'une vis pneumatique, ou ventilateur à hélice, du docteur belge van Hecke, obtint de l'Administration de l'Assistance publique de faire l'essai par pulsion du même appareil à l'un des pavillons de Beaujon et plus tard à l'un des pavillons de Necker. A Beaujon on avait d'abord établi un ventilateur aspirant dans la cheminée d'appel; ensuite, on appliqua un appareil pour la pulsion. La Compagnie obtint, en outre, du ministre de l'Intérieur, la ventilation et le chauffage de l'asile des convalescents du Vésinet. Tous ces appareils ont disparu depuis longtemps. L'appareil van Hecke n'a pas reçu d'autres applications que celles-là, et la compagnie formée pour son exploitation a liquidé peu après ces installations.

Dans les établissements que nous venons d'indiquer, l'air de ventilation était injecté par un ventilateur à hélice de construction particulière et le chauffage opéré par des calorifères ordinaires à air chaud.

3001. Les résultats, comme ventilation, ne furent guère favorables, à cause du peu de pression que donnait l'appareil et de son faible rendement. Dans certaine publication, on semble attribuer ces résultats au système de la pulsion lui-même, tandis que la faiblesse des effets produits provenait de l'impuissance du ventilateur van Hecke. En effet, le perfectionnement que ce docteur croyait avoir apporté au dispositif connu des ventilateurs à hélice, consistait uniquement à rendre les ailes flexibles, élastiques et mobiles, afin de leur permettre de prendre d'elles-mêmes pendant la marche, les inclinaisons les plus favorables! L'expérience a prouvé, comme cela était facile à prévoir, que ce ventilateur donnait, au contraire, un certain rendement quand les ailes en avaient été rendues fixes et rigides.

3002. Le Dr Van Hecke proposait depuis 1849, en Belgique, d'effectuer la ventilation des lieux habités à l'aide de la vis pneumatique, ou ventilateur à hélice, placé dans une cheminée d'évacuation, de manière à entraîner l'air vicié par aspiration ou appel. Le moteur de la vis était un contre-poids. C'est avec cet appareil que le docteur van Hecke avait essayé de ventiler l'une des salles du

Cercle du Commerce à Bruxelles. En 1852, il établit sa machine aspirante à la prison cellulaire des Petits-Carmes à Bruxelles. L'usage ayant montré que l'extraction de l'air vicié était presque nulle dans la majeure partie des cellules, on cessa de se servir de l'appareil.

Dans tous les essais que le docteur van Hecke avait tentés avant 1855, c'était toujours par aspiration ou appel qu'il cherchait à fonctionner. Les essais par pulsion avec la machine de cet inventeur n'ayant pas eu de consécration pratique, nous croyons inutile d'entrer dans la discussion des expériences qui ont été faites à ce sujet.

Hôpital militaire de Vincennes.

3003. Cet hôpital se compose de trois corps de bâtiments principaux : une partie centrale formant façade et comprenant les bureaux, les logements, les magasins et la chapelle ; deux ailes, parallèles entre elles, affectées en majeure partie aux salles des malades et renfermant en outre, les services accessoires de l'hôpital, tels que les logements des sœurs, la cuisine, etc. ; dans l'aile droite est la pharmacie, la tisanerie, les bains, etc., les casernements dans l'aile gauche. La chapelle et l'aile droite sont chauffées par des calorifères à air chaud ; les bureaux et toute l'aile gauche sont chauffés par la vapeur.

Les premiers appareils établis par M. Grouvelle, après un concours ouvert en 1857, sont décrits dans un mémoire du commandant Benoit dont on retrouve un extrait dans les *études sur la ventilation* du général Morin. Depuis, des transformations importantes ont été apportées aux dispositions primitives, et elles ont été exécutées par la maison Geneste et Herscher. Le programme proposé là cette époque et qui n'a pas été modifié était le suivant :

1° Maintenir à 15°, jour et nuit, 20 salles des malades représentant un cube total de.	10255 mc.
2° Chauffer à 15°, pendant 12 heures, 10 pièces dont la capacité totale est.	528
3° Chauffer à 12°, dix autres pièces dont la capacité totale est de	500
4° Chauffer à 10°, nuit et jour, les trois cages d'escalier dont la capacité est de	2866
5° Chauffer à 15°, pendant 12 heures, deux salles de la pharmacie, représentant un volume de	202

6° Chauffer à 15°, pendant 12 heures, huit salles affectées aux bureaux dont la capacité est de 681

Total. . . . . 15032 ^{mc}.

3004. Le chauffage établi par M. Grouvelle, était obtenu au moyen de deux chaudières à vapeur, l'une de 32 mètres. de surface de chauffe ; l'autre de 24 mètres, établies dans le sous-sol de l'escalier central, la petite chaudière servant au service d'été, et servant en hiver soit comme rechange, soit comme complément de la grande ; l'eau de retour servait à l'alimentation des chaudières ; le tuyau de fumée en tôle émaillée de $0^{m},50$ de diamètre passe dans l'axe d'une cheminée ventilatoire qui a $3^{mq},60$ de section. La distribution de la vapeur était faite au moyen de tuyaux de cuivre ou de fer étamé ; les tuyaux de retour à pente régulière, marchant parallèlement à ceux de vapeur, ramenaient l'eau condensée aux chaudières. Le chauffage se faisait au moyen de poêles placés dans les salles et d'autres poêles placés dans les gaînes d'arrivée de l'air neuf. Les poêles à eau étaient chauffés au moyen d'un serpentin de vapeur placé dans l'intérieur ; la température de l'eau était de 105° environ ; ils étaient timbrés à deux atmosphères, leur surface de chauffe variait de 2 à 7 mètres carrés suivant les dimensions des salles. Les poêles des gaînes avaient $3^{mq},40$ de surface de chauffe.

3005. L'installation de M. Grouvelle a fonctionné jusqu'en 1875 ; les inconvénients qu'on a reprochés à cette installation sont les suivants :

1° Emploi d'un intermédiaire pour transmettre la chaleur de la vapeur à l'air ;

2° Fuites dues à la présence de l'eau sous pression dans les poêles ;

3° Danger de rupture ; si le remplissage est complet, la dilatation du liquide suffit pour la produire ;

4° Arrêt de chauffage provoqué par les fuites : le niveau de l'eau diminuant, le serpentin de vapeur traversant les poêles de chauffage ne plonge plus dans le liquide, la condensation de la vapeur diminue et le chauffage cesse peu à peu, à mesure que le niveau de l'eau s'abaisse ; à cet égard, il est bon de remarquer que cet inconvénient n'existait pas dans le cas des poêles Thomas et Laurens à Lariboisière, pour lesquels le chauffage se faisait par le socle de l'appareil.

5° Les conduites de vapeur placées dans l'épaisseur du plancher

n'avaient pas une pente suffisante; l'eau de condensation s'écoulait lentement ou séjournait dans les tuyaux de circulation lorsque les effets de dilatation ou de contraction arrivaient à produire une contre-pente. A la mise en marche, la vapeur chassait cette eau qui engorge les tuyaux, et il en résultait des claquements et des trépidations qui effrayaient les malades et provoquaient des fuites dans les conduites. En hiver, dans les parties non chauffées, la gelée faisait rompre les tuyaux.

6° Poêles greffés verticalement sur les conduites horizontales : les circulations horizontales d'une grande longueur se dilataient considérablement. Au bout de peu de temps, les appareils de dilatation ne fonctionnaient plus, et comme les poêles étaient fixés au sol des salles et reliés en même temps à une circulation mobile, il en résultait une tension incessante autour des points d'attache. Cette tension était une cause permanente de détérioration et de fuites.

3006. Les dispositions adoptées par MM. Geneste et Herscher en 1875, sont les suivantes :

Les chaudières ont été remplacées par deux chaudières système Hediard (1332), l'une présentant 30 mètres carrés de surface de chauffe et un volume total de $1^{mc},75$, l'autre a un volume de $10^{mc},15$ avec une surface de chauffe de 20^{mq}; elles fonctionnent habituellement à deux atmosphères, mais on peut les faire fonctionner à quatre atmosphères afin de leur permettre d'actionner une machine qui produit la ventilation des pavillons extrêmes; l'alimentation des chaudières est continue; elle est obtenue au moyen d'un régulateur d'alimentation et d'une bouteille alimentaire qu'on remplit à intervalles au moyen d'un récipient supérieur; les retours d'eau sont employés à l'alimentation, ce qui rend les incrustations très-faibles. Le faible volume d'eau de ces chaudières permet un chauffage rapide.

La vapeur qui sert au chauffage est distribuée par une conduite principale venant des générateurs et s'élevant à la partie la plus élevée des combles, où elle se divise en deux canalisations horizontales suivant le faîte de l'édifice; de ces canalisations descendent des tuyaux verticaux ou qui se contournent suivant les besoins pour alimenter les poêles. Des tuyaux de retour verticaux ou contournés comme les précédents, suivant les besoins, partent des poêles et descendent jusqu'aux caves où ils viennent se brancher sur une conduite de retour qui ramène les eaux condensées dans un récipient, d'où elles sont reprises pour être employées à l'alimentation.

Les canalisations des combles et des caves présentent une pente notable, dans le sens de la marche des fluides ; cette pente favorise l'écoulement de l'eau de condensation. Les tuyaux ont été cintrés par avance afin de permettre la dilatation, sans l'emploi d'appareils spéciaux. Les conduites sont enveloppées avec le plus grand soin pour réduire la condensation sur leur parcours.

Entre les poêles de chauffage et les conduites qui les desservent sont placés un régulateur de pression (1977) et un purgeur automatique (1980).

Les poêles de chauffage contiennent deux ou trois récipients d'eau (1981) qui, par la chaleur accumulée dans ce liquide, maintiennent la température des salles pendant quelques heures après la suspension du chauffage.

Les poêles sont placés dans des enveloppes en tôle cylindriques, percées de trous, par lesquels s'échappe l'air chaud ; elles sont surmontées de colonnes en tôle de petit diamètre dans lesquelles sont dissimulés les tuyaux de circulation desservant les différents étages.

3007. L'air frais et pur, pris dans le jardin au moyen de puits et de galeries percés sous la cour, arrive dans de grandes gaînes verticales où sont disposées un certain nombre de bouteilles chauffées à volonté par l'eau des retours ou par une prise de vapeur directe. Ces bouteilles servent à dégourdir l'air neuf avant son entrée dans les caniveaux établis sous le plancher de chaque étage, et qui distribuent l'air neuf aux différents poêles, autour desquels il s'échauffe avant de se répandre dans les salles.

L'évacuation de l'air vicié se fait par de petites gaînes ménagées dans l'épaisseur des murs de la construction. Ces gaînes communiquent avec les salles par des orifices verticaux placés derrière les lits des malades. La section de passage se règle à volonté au moyen de registres que l'on manœuvre de façon à assurer un renouvellement d'air de 30 mètres cubes par malade et par heure. Ce chiffre peut être porté à 60 mètres cubes lorsque cela devient nécessaire.

L'air vicié qui a circulé dans les conduits d'évacuation se rend dans deux grands collecteurs horizontaux pratiqués sous le sol des caves et qui aboutissent à la grande gaîne qui entoure le tuyau de fumée commun aux deux générateurs ; cette gaîne se prolonge au-dessus du toit et y forme une cheminée de plusieurs mètres de hauteur.

Comme on ne disposait pas de foyer de chaleur pour produire la ventilation des casernements et des salles des pavillons extrêmes de

l'aile gauche, on a employé un appel mécanique qui produit un renouvellement pouvant s'élever à 280 mètres cubes par heure et par lit, lorsque les bouches d'évacuation sont ouvertes en plein; on peut d'ailleurs régler cette évacuation au moyen de registres.

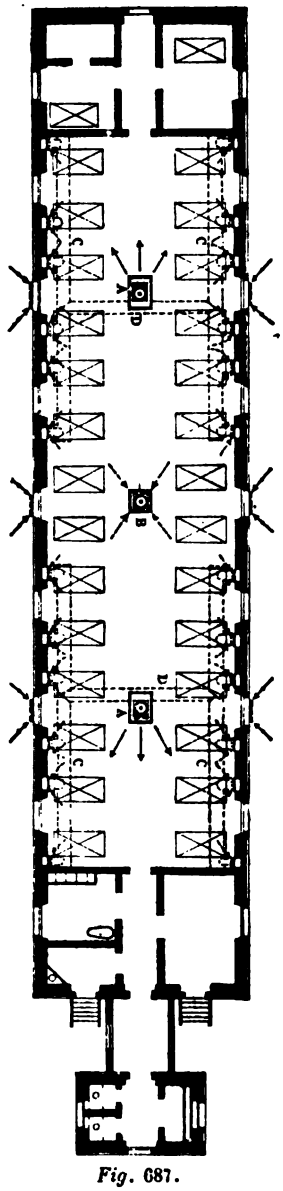


Fig. 687.

Hôpital militaire de Bourges.

3008. Cet hôpital a été construit d'après le système de M. Tollet : il comprend 10 pavillons isolés réunis par deux galeries.

Les pavillons n'ont qu'un rez-de-chaussée, élevé de 1^{m},25 environ au-dessus du sol et reposent sur des voûtes en moellons dans lesquels l'air circule librement, un de ces pavillons est représenté en plan (*fig.* 687) et en coupe transversale (*fig.* 688).

Chaque pavillon a 40 mètres de long sur 8 mètres de large et contient une salle de 28 lits, deux chambres d'isolement pour un malade chacune, une salle de bains, et quelques petites salles ou dépendances pour le service; les murs ont 7 mètres de hauteur et sont surmontés d'une toiture de forme ogivale qui a 16 mètres de hauteur au faîte.

3009. Le chauffage et la ventilation de chaque pavillon sont complétement indépendants, ils sont obtenus dans chacun d'eux : 1° au moyen d'une cheminée ventilatrice à double face B, disposée de telle sorte que les malades peuvent de leur lit voir le feu; cette cheminée occupe le centre de la grande salle ; 2° dans l'axe longitudinal se trouve placé de chaque côté de la cheminée ventilatrice, à 6 mètres de l'extrémité de la salle, un calorifère à air chaud A alimenté ainsi que la cheminée par de larges prises d'air extérieur. Le calorifère est

formé par un foyer en briques réfractaires placé dans une armature en tôle ; ce foyer en briques est surmonté d'un cylindre en tôle qui communique à sa partie supérieure avec un coffre vertical dans lequel la fumée circule méthodiquement, c'est-à-dire de haut en bas, avant de s'échapper dans la cheminée ; le foyer et le coffre supérieur sont entourés d'une enveloppe en tôle divisée en deux parties par une cloison en tôle, l'une forme la chambre de chauffe et est mise en communication avec l'air extérieur qui s'échauffe en traversant cette chambre et s'échappe dans la salle par une seule bouche de chaleur, l'autre est la chambre de ventilation ; elle est surmontée d'une gaîne de ventilation qui entoure le tuyau de fumée ; cette gaîne traverse le toit et s'élève à quelques mètres au-dessus du faîte.

Des vases de saturation sont joints aux calorifères et servent à donner à l'air le degré hygrométrique convenable.

3010. L'air vicié est pris en partie derrière les lits et au niveau du sol par des conduits dont les orifices sont placés dans le parement du

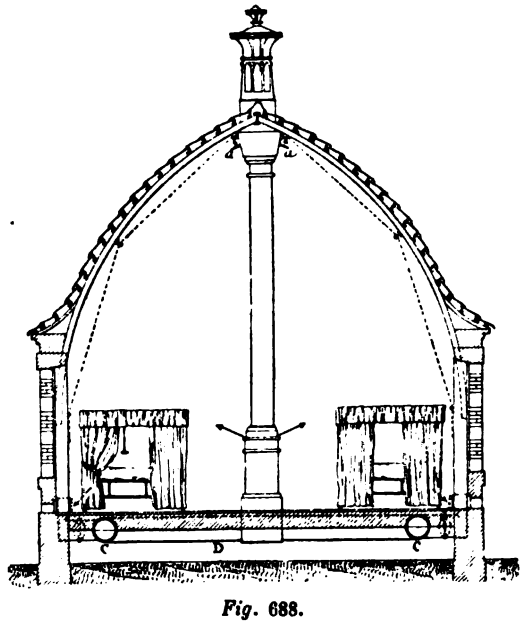


Fig. 688.

mur ; ces conduits très-courts se réunissent dans deux groupes de canaux longitudinaux C qu'un seul canal transversal D fait communiquer ; ce canal passe sous les calorifères et est en communication avec la

chambre de ventilation ; une autre partie de l'air vicié est évacuée au centre de la salle par une gaîne de ventilation qui entoure la cheminée ventilatrice ; enfin des orifices placés près du faîte et munis de fermetures mobiles *a*, fournissent encore un supplément d'évacuation.

En été on produit la ventilation, à l'aide d'une rampe de becs de gaz placée dans la chambre de ventilation de chaque calorifère.

3011. La division de l'hôpital en pavillons isolés de dimensions relativement réduites et ne comprenant qu'un rez-de-chaussée permet de traiter chaque pavillon isolé comme un petit hôpital séparé, et le chauffage à l'air chaud combiné avec l'appel donnent alors des résultats suffisants : lors des expériences officielles qui ont été faites par le génie militaire, on a constaté que les appareils permettent de maintenir dans les salles une température constante de 16°, tout en produisant une ventilation qui a varié de 120 à 158 mètres cubes par homme et par heure. L'espace cubique affecté à chaque malade est de 45 mètres cubes; on voit donc que l'air des salles peut être renouvelé trois fois par heure.

Les travaux de chauffage et de ventilation ont été exécutés par MM. Geneste fils et Herscher.

Nouvel hôpital de Ménilmontant à Paris.

3012. L'hôpital se compose : de quatre corps de bâtiments occupés par les malades A, A, A, A (*fig.* 689) ; 2° de deux pavillons isolés B, B'

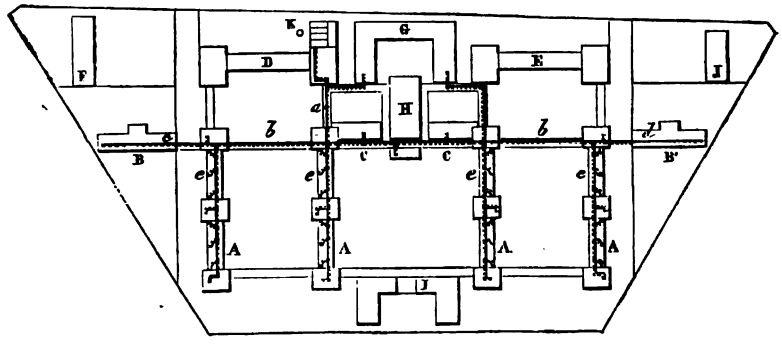


Fig. 689.

pour les varioleux et les femmes en couche ; 3° des bâtiments de service : bains C, C; cuisine D; pharmacie E; magasins et ateliers F;

communauté G; chapelle H; administration I; salle des morts J; 4° du bâtiment des chaudières, machines, pompes et ventilateur K.

Le système de ventilation adopté est mixte; l'arrivée de l'air pur se fait par pulsion; le départ de l'air vicié est déterminé au moyen de l'appel.

3013. Le sol de l'hôpital est à la cote de 85 mètres au-dessus du niveau de la mer, il est et restera complétement isolé de toutè habitation, placé qu'il est, d'un côté, entre la mairie du XXme arrondissement dont il est séparé parun square d'environ 80 mètres de largeur et 200 mètres de longueur, et de l'autre, par le chemin de ronde des fortifications; on n'a donc pas cru devoir prendre l'air à une très-grande hauteur, on s'est contenté d'élever une cheminée contre le mur d'enceinte de l'hôpital derrière le bâtiment de la communauté c'est-à-dire dans une région où ne se trouve aucun malade; cette prise d'air est en meulière; elle est enduite intérieurement en ciment. Elle a 2 mètres de large sur 6 mètres de long en section et 6^{m},50 de hauteur; l'air s'y meut avec une vitesse de 3 mètres; l'air neuf se distribue ensuite dans deux galeries souterraines dont la section est de 2^{m},50 sur 2^{m},50, et il arrive aux deux ventilateurs placés dans ces galeries; chacun de ces ventilateurs centrifuges a 2 mètres de diamètre et 1 mètre de largeur, il est animé d'une vitesse de 500 à 800 tours par minute et donne de l'air à la pression de 25 millimètres d'eau; une machine de 6 chevaux actionne chacun de ces ventilateurs. Les deux grandes galeries sont en plein cintre; elles sont situées sous le chemin de fer qui sert au grand service de l'hôpital: cuisine, tisanerie, transport des morts, etc.

3014. Avant d'entrer dans les ventilateurs, l'air doit traverser des chambres d'épuration; il passe à travers des claies recouvertes de charbon, puis traverse une toile sur laquelle on fait constamment couler un léger filet d'eau; on sature ainsi l'air froid, afin qu'il conserve une humidité suffisante après le chauffage.

3015. Au sortir des deux grandes galeries l'air est distribué dans quatre galeries principales disposées parallèlement entre elles, ayant 2^{m},50 sur 2^{m},50 de section et situées sous les quatre bâtiments de malades; ces galeries sont construites en meulières hourdées en ciment et enduites extérieurement et intérieurement en ciment; ces précautions ont été prises pour parer à l'humidité extrême du sol. Des galeries analogues alimentent les pavillons des varioleux et des femmes en couches; la section de ces galeries est calculée de façon à ce que l'air s'y meut avec une vitesse moyenne de 2 mètres.

3016. Chaque bâtiment comporte 180 malades répartis en trois étages qui comprennent chacun 2 salles de 28 lits et 2 chambres d'isolement à 2 lits ; le rez-de-chaussée est surélevé de $1^{m},50$ environ. Les étages ont $5^{m},80$ de hauteur à peu près entre plancher et plafond; les planchers ont $0^{m},40$ d'épaisseur. Les combles des bâtiments sont réservés et peuvent servir de salles de rechange en prévision de l'assainissement annuel des salles. Les deux bâtiments du milieu qui bordent la cour d'honneur diffèrent des deux bâtiments extrêmes en ce que le rez-de-chaussée est divisé en 2 petites chambres de 4 lits et une de 8 lits destinées au service de la chirurgie.

La prise d'air a été calculée à raison de 100^{mc} par malade et par heure pour ces quatre bâtiments, en comptant 180 lits pour chacun d'eux ; quoique les bâtiments intermédiaires aient au rez-de-chaussée un nombre de lits moindre, on a conservé la même alimentation d'air en raison du service même auquel ces lits sont destinés.

Pour les femmes en couche, on a prévu une arrivée d'air neuf de 300^{mc} environ par lit. Les murs de ce pavillon sont construits ainsi que le sol et le plafond de façon à pouvoir être fréquemment lavés ; les femmes occuperont chacune une chambrette, ayant une cheminée à feu et dont tous les angles seront arrondis ; cette chambre donnera sur une galerie, complétement ouverte au nord, et communiquant seule à l'escalier, aux cabinets, à l'office et à la chambre d'accouchement ; le bâtiment a un rez-de-chaussée et un premier étage et contient 40 lits.

Le bâtiment des varioleux ne comporte qu'un rez-de-chaussée composé de 2 salles de 26 lits et, comme celui des femmes en couche, séparé par un mur du reste de l'hôpital ; il aura son service spécial de surveillantes, de serviteurs et de médecins ; la ventilation s'y fera à raison de 200^{mc} par heure et par lit.

La quantité totale d'air à fournir est donc ainsi répartie :

1° Pour les quatre bâtiments principaux de l'hôpital.	72000^{mc}
2° Pour les femmes en couche.....	12000
3° Pour les varioleux.....	10400
	94400^{mc}

Pour pourvoir à toutes les éventualités résultant de chauffage faible ou de pertes, on a compté sur 120000^{mc}, ce qui pour une vitesse de 3 mètres donne une section de prise d'air égale à $11^{mq},11$ et comme la prise d'air a 12^{mq} de section, on voit que la vitesse à l'entrée a moins de 3 mètres.

L'air qui circule dans les quatre galeries principales et dans les galeries du pavillon des varioleux et des femmes en couches est distribué aux appareils de chauffage par des ouvertures pratiquées à la voûte de ces galeries.

3017. Les appareils de chauffage sont des poêles à eau chauffés par la vapeur ; ils sont formés de tuyaux verticaux à nervures ; les uns sont à 9 tuyaux, les autres à 5 ; les appareils à 9 tuyaux sont enfermés dans une chambre en maçonnerie de $2^{mc},70$ de long sur $0^{m},98$ de large ; les tuyaux ont un diamètre intérieur de $0^{m},25$; leur diamètre extérieur est de $0^{m},266$; les cannelures ont une saillie de $0^{m},05$; leur épaisseur près du tuyau est de $0^{m},008$ et, à l'autre extrémité, de $0^{m},002$; il y a 48 nervures ; chaque tuyau a une hauteur totale de $3^{m},20$; il est formé de deux manchons cannelés réunis par un joint de caoutchouc ; le premier manchon a une hauteur de $1^{m},20$; la hauteur du second, placé au bas du tuyau, est de $1^{m},80$; chaque manchon présente à chacune de ses extrémités une partie lisse de $0^{m},10$ de hauteur, le reste de sa hauteur est occupé par les cannelures. Le tuyau est complété par deux chapeaux lisses, l'un en bas, l'autre en haut, dont la hauteur est de $0^{m},10$; chaque chapeau est muni d'une tubulure ayant $0^{m},050$ de diamètre intérieur et $0^{m},080$ de hauteur. Les tubulures inférieures, ainsi que les tubulures supérieures, sont reliées par un tube en cuivre rouge de $0^{m},08$ de diamètre intérieur formant une couronne allongée ; la couronne supérieure porte deux petits robinets destinés à l'évacuation de l'air ; aux deux extrémités de chaque couronne sont des tubulures destinées à relier entre eux par des tubes tous les appareils d'un même bâtiment. La circulation inférieure communique avec un vase d'expansion placé au rez-de-chaussée. Le tuyau à nervure placé au milieu et en avant des appareils de chauffage renferme, dans sa partie inférieure, un serpentin parcouru par la vapeur et destiné à chauffer l'eau qui circule dans ce tuyau ; ce serpentin a $1^{m},30$ de hauteur.

3018. Quant à la chambre dans laquelle les tuyaux sont renfermés, ses parois sont formées : au fond par des poteries creuses embrassant les tuyaux de fond, et laissant entre elles et ces tuyaux un vide de $0^{m},010$ dans lequel circule l'air ; sur les côtés, d'un mur en briques creuses de $0^{m},20$ d'épaisseur, jointoyé en ciment ; en façade, d'un coffrage en tôle s'appuyant sur un poitrail en fer et qui est destiné à laisser passer de l'air froid sans contact avec les tuyaux ; ce coffrage est divisé en quatre compartiments dont cinq cintrés, embrassant les tuyaux de face comme les poteries du fond, et un cinquième

plus étroit au centre, et dans lequel passe le tuyau qui amène la vapeur dans le serpentin. Le coffrage et les neuf tuyaux reposent sur des poitrails posés sur fondation en meulière à 0m,80 au-dessous du sol du sous-sol. Les deux murs latéraux en briques creuses s'appuient sur ces mêmes fondations ; celles-ci forment une chambre inférieure dans laquelle viennent déboucher deux pénétrations voûtées de 0m,40 de large sur 0m,60 de hauteur percées dans la galerie de ventilation et amenant l'air dans l'appareil et dans le coffrage antérieur. L'air qui a traversé l'appareil ainsi que celui qui a traversé le coffrage arrivent à la partie supérieure de l'appareil dans deux compartiments spéciaux et sont lancés dans les gaînes de ventilation où ils se mélangent; en réglant au moyen de registres chacun des deux courants, on obtient la température convenable et on la maintient constante. Quand la température varie peu, au lieu d'agir sur les registres d'air, on ouvre plus ou moins la conduite de vapeur.

3019. Chaque bâtiment principal possède, en sous-sol, six appareils à neuf tuyaux et trois appareils à deux tuyaux; les premiers desservent les grandes salles de malades, les derniers, établis d'ailleurs exactement comme les premiers, desservent les chambres d'isolement de chaque étage.

3020. Le chauffage est obtenu au moyen de quatre chaudières de 75 chevaux chacune du système Thomas et Laurens, munies de réchauffeurs et fournissant la vapeur à la fois aux machines et aux appareils de chauffage. Elles fonctionnent alternativement deux à deux pendant quinze jours ; l'alimentation se fait par les pompes alimentaires des machines au moyen des eaux de retour et, pour le surplus, par un injecteur Giffard, avec de l'eau de la Dhuys.

La vapeur est prise sur chaque chaudière au moyen d'un tuyau en cuivre rouge *a* de 0m,10 de diamètre; ce tuyau suit la galerie en sous-sol dans un caniveau en meulière construit dans l'axe du chemin de fer, et dans lequel se trouve également le tuyau de retour; de distance en distance, le tuyau présente une partie courbée en demi-circonférence et qui permet la dilatation sans qu'il y ait besoin de recourir à l'emploi d'aucune espèce de compensateur. Ce caniveau passe sous les cuisines et vient s'ouvrir dans un autre caniveau qui lui est perpendiculaire et qui traverse l'hôpital depuis le pavillon des varioleux jusqu'à celui des femmes en couche. Dans ce dernier caniveau se trouve un tuyau *bb* de 0m,08 qui se termine à une extrémité par un branchement *c* de 0m,03 pour le chauffage du pavillon d'accouchement, et à l'autre par un branchement *d* de 0,04 pour le

bâtiment des varioleux; il reçoit en plus quatre branchements *e,e,e,e* perpendiculaires pour les quatre bâtiments principaux. Ces derniers tuyaux ont $0^m,060$ de diamètre. Sur chacun d'eux se trouvent branchés des tubes de $0^m,030$ de diamètre qui fournissent chacun la vapeur à un des appareils de chauffage. Ces tuyaux montent au-devant de chaque appareil dans le coffrage dont nous avons parlé; l'eau de retour s'échappe par un tuyau de cuivre de $0^m,020$ de diamètre qui vient se réunir à un tuyau disposé parallèlement à la conduite de vapeur et qui a $0^m,04$ de diamètre; les tuyaux de retour qui se réunissent définitivement en un tuyau de $0^m,05$ de diamètre; il y a en plus au milieu deux branhcements de vapeur de $0^m,035$ pour le chauffage de la cheminée et un de $0^m,02$ pour le chauffage du réservoir d'eau des bains d'office.

3021. Après s'être échauffé au degré convenable après son passage autour du calorifère et son mélange avec l'air froid, l'air neuf monte dans des conduits pratiqués dans l'intérieur des murs et arrive dans les salles; la section de ces gaînes est de $0^m,20$ sur $0^m,20$; l'air s'y meut avec une vitesse de $1^m,50$; l'air pénètre dans les salles par des repos de chaleur demi-circulaires, placés aux extrémités de ces salles; ces tambours ont $0^m,50$ de diamètre et 1 mètre de haut; ils portent une grille en fonte à la partie supérieure et des bouches latérales; l'introduction de l'air neuf se fait encore dans les salles par des bouches placées dans les pieds-droits des cheminées placées au milieu des salles; ces cheminées, chauffées à la houille ou au bois, ne sont pas comptées dans le chauffage, elles ne servent qu'à égayer l'aspect des salles.

3022. L'air vicié est évacué au moyen de gaînes, dont la section est de $0^m,35$; sur $0^m,15$ ces gaînes sont au nombre de quatre dans chaque trumeau pour desservir chacun des quatre étages de salles; elles sont percées d'orifices en bas et en haut; les premiers servent pour la ventilation d'hiver, les seconds pour la ventilation d'été. L'air s'échappe des salles avec une vitesse de 1 mètre; comme chaque salle contient 28 lits, c'est 2800^{mc} qu'il faut évacuer par heure, ce qui correspond pour une vitesse de 1 mètre à une section de $0^m,82$; or il y a de chaque côté de la salle sept conduits d'évacuation, soit en tout quatorze, ce qui donne pour chacun d'eux une section de $0^{mq},059$; cette section a été réduite à $0^{mq},0525$; on était, en effet, limité par la largeur et l'épaisseur des trumeaux; cet affaiblissement de section est compensé par l'évacuation qui se produit par la porte de service qui donne sur l'escalier, par la cage du monte-charge et par la che-

minée qui se trouve au centre de la salle. L'air évacué par les gaînes en poterie dont nous venons de parler arrive à un coffre d'évacuation situé sur le faux-plancher du comble au-dessus de la salle de rechange. Chaque bâtiment a deux coffres longitudinaux placés, un de chaque côté et à la base du rampant du toit ; chaque coffre est divisé en quatre compartiments longitudinaux par des cloisons horizontales, chacun de ces compartiments servant pour les gaînes d'un même étage. La section de ces coffres est telle que l'air n'y prend pas une vitesse de plus de 1 mètre à $1^m,20$. De ces coffres d'évacuation l'air se rend, pour chaque bâtiment, dans une cheminée centrale de 6 mètres de hauteur et de $4^m,50$ de diamètre, à la base de laquelle se trouve un calorifère à tuyaux semblables, quant à sa disposition, à ceux que nous avons précédemment décrits, mais qui comporte vingt-quatre tuyaux en été ; ce calorifère est chauffé à 80° au moyen de la vapeur seule ; on n'emploie pas d'eau pour ne point surcharger le bâtiment.

L'arrivée de l'air neuf et l'évacuation de l'air vicié, dans le pavillon des varioleux et dans celui des femmes en couche, se fait d'une façon absolument semblable.

3023. Indépendamment des tuyaux de vapeur dont nous avons parlé plus haut, la conduite principale fournit : 1° deux branchements de $0^m,03$ de diamètre dans la communauté par le chauffage spécial de ce bâtiment ; 2° deux branchements aussi de $0^m,03$ se rendant dans chaque bâtiment de bains, pour le chauffage de l'eau de seize bains dans chacun d'eux ; 3° un branchement de $0^m,03$ pour le chauffage de la chapelle. Les retours d'eau suivent, pour chacun de ces cas, les tuyaux de vapeur parallèlement ; on leur donne $0^m,02$ de diamètre.

3024. Pour le chauffage de la chapelle et celui de la communauté, le calorifère se compose d'une bâche contenant de l'eau et dans laquelle se trouve placé un serpentin à vapeur. De cette bâche partent des tuyaux de circulation en font lisse de $0^m,20$ de diamètre intérieur ; cette circulation se fait dans des caniveaux en meulière, hourdés et enduits en ciment ; le caniveau est recouvert de grilles en fonte dans les parties à chauffer et fermé à la partie supérieure pour les autres.

La cuisine se fait à la vapeur par les procédés que nous avons indiqués n° 2129 ; M. Piet, qui a construit les appareils, a supprimé les crans d'arrêt qui permettent de donner aux chaudières une inclinaison quelconque, et les a remplacés par un arc denté monté sur l'arc des chaudières, et sur lequel on agit au moyen d'une vis sans fin ; on obtient ainsi un mouvement plus doux et un arrêt plus sûr.

3025. Nous terminerons en décrivant une disposition très-heureuse de l'éclairage des salles pendant la nuit; cet éclairage se fait au gaz de telle façon que les produits de la combustion sont immédiatement rejetés au dehors. Chaque salle est éclairée par deux appareils disposés de la façon suivante : le tuyau à gaz descend du plafond verticalement et se termine par un porte-bec placé à $2^m,25$ au-dessus du plancher de la salle. Il est entouré d'un tuyau de $0^m,5$ de diamètre qui porte à la partie inférieure un globe en verre dépoli de $0^m,45$ de diamètre, entourant le bec et ouvert par le bas pour laisser pénétrer l'air de combustion ; à la partie supérieure, ce tuyau s'ouvre sur une rosace en bronze, fixée au plafond et qui ferme une petite chambre d'évacuation pratiquée dans l'épaisseur du plancher supérieur; latéralement cette chambre reçoit un conduit en poterie Doulton de $0^m,08$ de diamètre intérieur et qui mène les gaz à travers l'épaisseur du plancher dans la gaîne de ventilation de la salle qu'éclaire l'appareil.

3026. Le chauffage a été installé dans cet hôpital par MM. Gaillard et Haillot sur les indications et les plans, et sous la direction de M. Ser, professeur à l'École centrale, ingénieur de l'Assistance publique.

Nouvel Hôtel-Dieu de Paris.

3027. Le nouvel Hôtel-Dieu de Paris se compose de deux corps de bâtiment longitudinaux, allant du Parvis Notre-Dame au Quais dans lesquels se trouvent les amphithéâtres et des chambres d'isolement de deux, quatre et huit lits. Sur le quai, les deux bâtiments sont réunis par la chapelle ; sur le parvis par un péristyle, circonscrivant ainsi une cour d'honneur inaccessible aux voitures et bordée d'un saut de loup éclairant le sous-sol du bâtiment dans lequel se trouvent réunis les services : chemin de fer, cuisines, bains généraux, pharmacie, chambres des élèves de service. De ces deux bâtiments partent des ailes transversales, à savoir : en façade sur le parvis, un pavillon pour l'administration de l'hôpital ; à droite et à gauche un pavillon contenant les services du bureau central d'administration des hôpitaux de Paris ; en façade, sur le quai à droite, un pavillon recevant la communauté et la lingerie; à gauche, un autre pavillon servant au noviciat et renfermant au rez-de-chaussée, la salle des morts et en sous-sol, les pompes, les machines et les ventilateurs.

De chaque côté entre les pavillons qui forment les façades se trou-

vent placés trois pavillons de malades laissant entre eux des cours plantées de 32 mètres de long, sur 32 mètres de large, qui servent de promenoirs pour les pensionnaires qu'on regarde comme guéris.

La cour qui avoisine le pavillon des machines a reçu en sous-sol les chaudières placées contre le bâtiment longitudinal.

Le chauffage d'un pavillon de malades se fait au moyen de six appareils à six tuyaux à très-peu près semblables à ceux que nous avons décrits pour l'hôpital Ménilmontant ; il y a mélange d'air chaud et d'air froid comme dans les derniers, de façon à obtenir un chauffage au degré convenable.

Le chauffage des deux corps de bâtiments longitudinaux se fait au moyen d'appareils à trois tuyaux convenablement répartis dans le sous-sol, suivant les besoins.

Les quantités d'air fournies sont les mêmes que celles de Ménilmontant : la prise d'air se fait par deux larges baies percées dans la façade sur le quai et à une certaine hauteur ; l'évacuation se fait d'une façon tout à fait analogue par des gaînes placées dans les trumeaux et des coffres placés dans les combles, ces derniers aboutissent à une cheminée centrale chauffée à la base par un appareil à tuyaux comme à Ménilmontant.

Le chauffage et la force motrice sont obtenus au moyen de quatre chaudières du système Laurens et Thomas.

Les appareils de chauffage, les chaudières, les machines, etc., de cet hôpital ont été installés par la maison Durenne de Courbevoie sur les plans et indications de M. Ser, professeur à l'École centrale, ingénieur de l'Assistance publique.

La cuisine se fait à la vapeur comme à l'hôpital Ménimontant et les appareils sont les mêmes.

3028. Au point de vue des principes généraux du chauffage et de la ventilation, nous indiquerons ce que présentent de tout particulièrement satisfaisant les dispositions adoptées dans les deux nouveaux hôpitaux dont nous venons de parler.

Au point de vue du chauffage : emploi de calorifères à eau chaude, chauffés par la vapeur ; ce qui permet d'avoir une douce température des surfaces de chauffe ; mélange d'air chaud et froid en quantités variables permettant d'atteindre facilement la température désirée et de la rendre constante. Ces dispositions écartent complétement les objections faites contre le chauffage à l'eau chaude relativement à la difficulté de faire varier le chauffage selon la température extérieure.

Au point de vue de la ventilation, l'emploi simultané de la pulsion et de l'appel assure à la fois l'alimentation en air neuf et l'évacuation de l'air vicié, en même temps qu'on peut régler la pression intérieure de façon à éviter toute rentrée d'air par les voies non prévues.

Hôpitaux étrangers.

3029. *Asile d'aliénés d'Osnabrück* (*Hanovre*). — Nous empruntons à la Revue de la Société des ingénieurs et architectes de Hanovre (vol. XXII, 1876), la description des procédés employés pour le chauffage et la ventilation de cet asile :

Le programme comportait un établissement pour 236 aliénés, moitié hommes et moitié femmes ; il y a deux bâtiments isolés, un pour chaque sexe ; entre ces deux constructions sont placés les bâtiments de service ; le tout est entouré de cours et de jardins spacieux.

Au 1er juin 1874, il y avait 145 hommes et 141 femmes ; on estime qu'on pourrait élever la population des aliénés à 336. L'établissement présente une superficie de 4 hectares par 100 aliénés ; cette superficie est plus faible que celle de la plupart des asiles similaires d'Allemagne.

La superficie des salles est de 35^{mq} par malade ; dans les autres asiles d'Allemagne, elle varie de 47 à 60^{mq}.

Dans le service des gâteux, des épileptiques et des fous furieux, le chauffage est fait au moyen de la vapeur et la ventilation se fait par pulsion ; dans les autres services, le chauffage et la ventilation se font au moyen de poêles-calorifères ; dans les chambres, on chauffe au moyen de poêles ordinaires.

3030. Le chauffage à vapeur est du même type que celui que Bacon a établi à la maison d'aliénés de Hambourg ; il procède évidemment du chauffage Perkins (2024), l'appareil consiste en des tubes séparés et inclinés dont le diamètre externe est de $0^m,30$ et le diamètre interne de $0^m,20$. Ces tubes sont remplis d'eau sur le 1/6 de leur longueur ; après avoir été remplis, ces tubes sont fermés et soudés, la partie inférieure repose dans un foyer et la partie supérieure est placée dans une chambre dans laquelle circule l'air de la ventilation ; le foyer est séparé de la chambre à air au moyen de deux plaques de fonte percées de trous pour le passage des tuyaux et dont l'intervalle est rempli de terre réfractaire. La surface de chauffe des tuyaux est réglée de telle façon que les locaux puissent être chauffés à 19°, l'air

extérieur étant à — 25° avec une alimentation d'air neuf de 80^{mc} par aliéné et par heure.

3031. La pulsion est produite au moyen de deux ventilateurs de 1 mètre de diamètre, munis de trois ailes inclinées environ à 15° et ayant en largeur 0^{m},40 environ ; ces ventilateurs sont mus par une machine à vapeur, à la vitesse de 500 tours par minute, ils aspirent l'air neuf au moyen d'une cheminée très-élevée et le mènent par des galeries souterraines en maçonnerie jusqu'aux calorifères centraux.

On règle la température par la conduite du foyer, par l'admission plus ou moins grande de l'air chaud obtenue au moyen de registres, par la vitesse plus ou moins grande donnée à la machine et enfin par la variation dans les proportions de l'air chaud et de l'air froid introduits dans les chambres de mélange placées au-dessus des calorifères.

L'air vicié est évacué par des orifices placés en face des bouches d'introduction de l'air neuf et par des gaînes verticales qui s'élèvent au-dessus du toit.

3032. D'après le Dr Meyer, conseiller sanitaire de l'établissement, voici quels sont les résultats de ce mode de chauffage et de ventilation après six années d'exercice.

L'emploi de la pulsion combinée avec le chauffage est satisfaisant, l'air des calorifères centraux est chauffé de 90 à 100° ; il suffit de vingt à vingt-cinq minutes pour chauffer les plus grandes salles de 174^{mc}, à 17 ou 20° même par les plus grands froids ; le renouvellement de l'air est puissant ; les odeurs des gâteux et autres sont vite chassées. Lorsque le vent souffle fortement contre les orifices d'échappement de l'air vicié, il est utile d'ouvrir les portes donnant sur le corridor. L'avantage particulier de ce mode de ventilation est qu'il n'y a pas de courants d'air désagréables devant les fenêtres et les portes parce que l'air, en vertu de sa pression, tend à s'échapper par ces ouvertures.

Les orifices d'admission de l'air placés d'abord à 0^{m},50 au-dessus du sol ont été reportés à 2 mètres de hauteur ; ils étaient le réceptacle d'aliments, d'ordures, de déjections des aliénés et devenaient un foyer d'infection.

La ventilation en été peut être maintenue aussi active qu'en hiver et se fait avec de l'air rafraîchi sur son passage à travers les galeries souterraines.

Le système de chauffage n'a pas présenté de résultats aussi satisfaisants que celui de la ventilation : il y a eu de fréquentes explo-

sions de tuyaux isolés ; il ne paraît pas que ces explosions aient correspondu à un chauffage, exagéré car, dans deux cas, le thermomètre ne montait qu'à 80° dans la chambre des tuyaux ; dans d'autres cas, l'explosion a eu lieu par la négligence du chauffeur ; dans l'un d'eux la température de l'air chaud s'était élevée à 140°. Ce système nous paraît, en effet, inférieur comme emploi et surtout comme sécurité au système de Perkins à circulation avec vase d'expansion.

3033. *Hôpital communal de Copenhague.* — Cet hôpital est formé de deux grands corps de bâtiments parallèles à trois étages réunis par deux ailes qui forment une grande cour centrale et deux cours latérales, la partie du milieu des longs corps de bâtiments est occupée par les bureaux, les salles d'opération, la cuisine, etc. ; les quatre extrémités de ces deux bâtiments reçoivent les malades aux trois étages avec séparation des sexes ; les fenêtres sont au sud-est ; le côté nord-ouest des bâtiments est occupé par de larges couloirs.

Le bâtiment des machines est dans l'axe du monument et derrière ; à une certaine distance du bâtiment et en retraite du bâtiment des machines sont deux pavillons isolés, l'un divisé en cellules pour les aliénés et l'autre servant pour les maladies épidémiques.

L'édifice contient 800 lits répartis en 60 salles de malades complétement indépendantes et renfermant chacune 10 lits, 12 salles à 5 lits, 27 chambres à 2 lits et 41 chambres particulières. Pour la ventilation, l'air est amené dans chaque salle par des caniveaux placés sous le plancher ayant $2^{dmq},75$ de section et qui aboutissent à des poêles-calorifères chauffés au coke ; l'évacuation de l'air vicié se fait dans les grandes salles par trois bouches d'appel de $0^{dmq},5$ de section au plafond, et des fentes ayant $0^{m},03$ de hauteur sur $0^{m},25$ de large placées derrière chaque lit ; de là l'air se rend dans des gaînes verticales en maçonnerie qui communiquent avec les grandes artères de la ventilation placées sous les combles ; ces artères ont 1^{mq} dans leur plus grande section ; l'air est repris par deux puits maçonnés dans la cour d'où il se rend, par un canal souterrain ayant $1^{m},60$ de diamètre, au bâtiment de la machine. Là, deux ventilateurs à force centrifuge mettent l'air en circulation ; l'évacuation de l'air s'élève à 77 mètres cubes par heure et par malade ; les lieux d'aisances sont ventilés par un appel d'air fait sous le siége.

3034. *Hôpital militaire d'Ouïazdowo à Varsovie.* — Le chauffage est effectué au moyen de 14 calorifères en briques ; la ventilation est à la fois le résultat de l'appel et de la pulsion. Quand l'air

extérieur est à une température assez basse, l'appel suffit à assurer un renouvellement de 60 à 80 mètres cubes par lit ; quand la température extérieure varie de + 5 à + 15°, on produit dans les prises d'air une injection d'air comprimé, obtenue au moyen d'une machine à vapeur de 6 chevaux ; la température est maintenue constamment entre 17 et 19° ; l'état hygrométrique entre 0,50 et 0,60.

3035. *Hôpital de Gand.* — Cet hôpital n'a de malades qu'au rez-de-chaussée ; les salles séparées par des jardins sont réunies par une longue galerie couverte qui est mise en communication avec chacune d'elles.

La ventilation est faite par pulsion ; un puissant ventilateur refoule l'air dans une grande galerie souterraine qui se trouve placée au-dessous de la galerie qui dessert les différentes salles ; de cette galerie souterraine partent des caniveaux disposés sous le plancher de chaque salle et dans son axe longitudinal ; en hiver, cet air est chauffé au moyen d'une circulation d'eau chaude ; l'air frais pénètre dans chaque salle par des orifices placés près du plafond et munis de valves. L'expulsion de l'air vicié se fait par des ouvertures placées à $0^m,20$ du plancher et se rend par des caniveaux, pratiqués sous le plancher, dans une cheminée. L'appel est produit dans cette cheminée, en hiver par le passage de la fumée de l'appareil de chauffage, en été par l'emploi d'un foyer spécial placé dans la cave.

3036. *Hôpital de Rudolph, à Vienne* (*Autriche*). — Cet hôpital est un exemple de l'application de la ventilation naturelle, les bâtiments de malades sont disposés de telle façon que les salles sont éclairées sur l'une des faces du bâtiment et vers l'autre face règne un long corridor qui dessert les différentes salles ; la face du corridor est exposée du côté des vents régnant l'hiver. Un poêle calorifère est accolé au mur de la salle qui longe le corridor ; l'enveloppe de ce poêle peut être mise en hiver en communication avec la prise d'air extérieur ; les salles sont munies de tuyaux de toit disposés dans les murs de refend et de tuyaux d'étages placés dans les murs de façade ; les tuyaux de toit sont représentés figure 690 ; ils sont munis de deux valves A et B. Quand l'air doit être pris au bas de la pièce, la valve A est ouverte et la valve B fermée ; quand au contraire l'air vicié doit s'échapper par le haut, la valve B est ouverte et la valve A fermée ; un anémomètre *c* donne à chaque instant l'état du courant ; les tuyaux d'étages sont représentés figure 691 ; ils sont munis

d'une valve intérieure à la partie inférieure A, et d'un registre B fermant l'orifice d'accès sur l'extérieur ; quand l'air doit entrer par le haut du canal, la valve A est fermée et l'accès de l'air est libre jusqu'à une ouverture qui fait déboucher le canal dans la chambre à sa partie supérieure ; quand l'air doit entrer par la partie inférieure on lève la valve A qui obstrue la partie supérieure du canal ; le

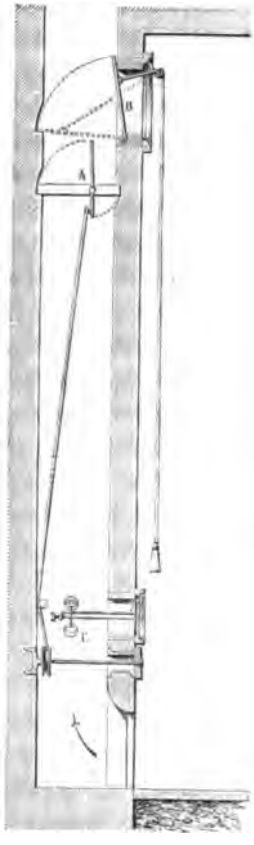


Fig. 690.

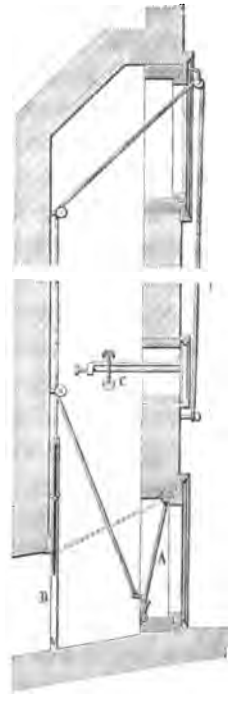


Fig. 691.

registre B sert à régler l'accès de l'air ; l'anémomètre C donne la vitesse du courant, lorsque l'anémomètre des conduits du toit ne fonctionne pas et réciproquement. La figure 692 représente les dispositions adoptées pour faire arriver l'air neuf au calorifère dans le cas où l'on chauffe. En *f* se trouve l'orifice d'accès de l'air dans la salle ; c'est à cet orifice qu'aboutissent les canaux d'étage amenant

l'air de l'extérieur. Cet orifice, à son entrée dans la salle peut être fermé ou ouvert en *d* et en *c* par deux valves indépendantes *a*, *e*; quand le chauffage ne fonctionne pas, la valve *a* ferme l'orifice *c* et l'air pénètre directement dans la salle par l'orifice *d*; quand le poêle fonctionne la valve *e* ferme l'orifice *d*; la valve *a* est rabattue sur *b* et l'orifice *c* est mis alors en communication avec l'orifice d'accès de l'air dans l'enveloppe du poêle-calorifère. Nous avons indiqué,

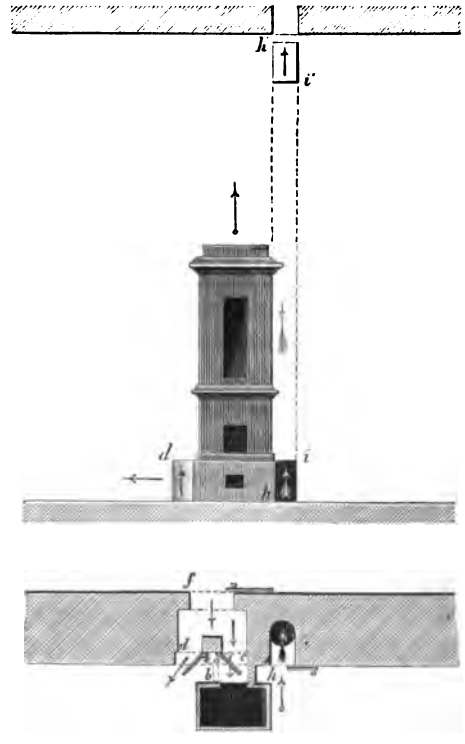


Fig. 692.

n° 2069, les conditions dans lesquelles les appareils doivent être réglés suivant les diverses circonstances atmosphériques qui peuvent se présenter ; nous n'y reviendrons pas.

Nous ferons remarquer cependant que ce mode de ventilation qui, par sa nature même, est essentiellement variable, et qui dans certains cas pourrait devenir absolument nul lorsqu'il serait le plus nécessaire, ne doit être employé que d'une façon absolument exceptionnelle : pour de petites salles, dans des conditions spéciales d'ex-

position ou de région ; dans aucun cas d'ailleurs, et quelque favorables que puissent être les conditions d'emploi de ce système, il sera toujours inférieur comme régularité et comme efficacité à tout autre mode de ventilation.

Observations sur le chauffage et la ventilation des hôpitaux.

3037. Les dispositions qui sont les meilleures en principe, ne peuvent pas toujours être employées, et celles qui sont préférables dans chaque cas particulier dépendent principalement de l'importance des établissements et des sommes qui peuvent être consacrées à la construction des appareils. On peut dire cependant qu'en général il vaut mieux installer les appareils les plus perfectionnés, malgré une plus grande dépense première, l'intérêt de cette dépense se trouvant bien plus que compensé par la diminution dans les frais de combustible et dans ceux d'entretien, ou par de meilleurs résultats.

Dans les villes d'une faible population, les hôpitaux ne renfermant qu'un petit nombre de lits qui ne sont pas toujours occupés, les moyens de chauffage et de ventilation ne peuvent pas être les mêmes que dans les hôpitaux des grandes villes qui sont constamment occupés, et pour lesquels les administrations peuvent faire les dépenses d'installation de puissants appareils de ventilation.

3038. Pour les petits établissements, le système de chauffage et de ventilation le plus simple et le plus économique, à la fois, sous le rapport des dépenses d'établissement et de service, serait le suivant :

Le chauffage de chaque salle s'effectuerait par un ou deux poêles, en fonte ou en tôle, à double enveloppe, disposés comme nous l'avons dit (1836), destinés à chauffer la salle par rayonnement, et en même temps l'air de ventilation ; les tuyaux à fumée s'élèveraient d'abord verticalement pour produire le tirage, et se prolongeraient ensuite horizontalement de manière à refroidir presque complétement l'air brûlé. Le tuyau à air brûlé serait garni d'un registre destiné à régler la combustion, afin de maintenir la salle à une température convenable. On pourrait éviter l'alimentation trop fréquente du foyer en employant des poêles à alimentation continue (1842) ; mais alors on ne pourrait se servir que de houille sèche, de coke ou d'anthracite. Le service des poêles serait confié aux personnes chargées du service de la salle. L'étendue des surfaces de chauffe se calculerait

facilement d'après ce que nous avons dit (1861), en prenant la température extérieure la plus basse et en supposant une ventilation de 60 mètres cubes par lit et par heure. Il est assez facile de disposer la partie supérieure des poêles de manière qu'ils puissent chauffer de l'eau, du linge et des médicaments; mais, comme le chauffage des poêles varie avec la température extérieure, et qu'il ne dure qu'une partie de l'année, il vaut mieux avoir pour cet objet un foyer spécial qui sert en même temps pour la ventilation, qui doit être permanente de jour et de nuit, été et hiver.

3039. L'accès de l'air extérieur aurait lieu par un canal pratiqué au-dessous du sol pour les salles du rez-de-chaussée, et qui s'ouvrirait au-dessus du sol dans un lieu sain et bien découvert, garni d'un appareil destiné à faire concourir les vents à l'accès de l'air. Pour les étages supérieurs, l'accès de l'air extérieur devrait s'effectuer par des canaux pratiqués entre le plancher et le plafond de l'étage inférieur, débouchant sur les deux faces opposées du bâtiment, et, pour faire concourir les vents à l'accès de l'air, il faudra disposer au-dessous du poêle l'appareil indiqué par la figure 693. Cet appareil se compose d'une plaque en tôle AB mobile autour d'un axe horizontal fixe, dans lequel se trouve son centre de gravité, et qui peut prendre, au moyen de deux arrêts, les positions AB et A'B', suivant que le vent arrive par les extrémités M ou N; l'axe de rotation de la plaque mobile est au-dessous de son milieu afin que l'action du vent soit plus grande sur la partie supérieure de la plaque que sur sa partie inférieure. La section des canaux d'accès de l'air et de l'espace annulaire autour du poêle devra être calculée en supposant au plus une vitesse de 2 mètres par seconde. Ainsi, pour une salle de 30 lits, le volume d'air appelé par seconde serait de 30 . 60 : 3600 = $0^{m3},50$, et la section du canal, en supposant deux portes, serait de 0,50 : (2 . 2) = $0^{mc},125$.

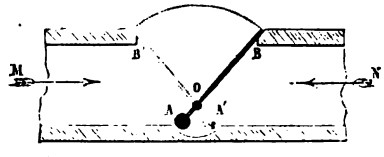


Fig. 693.

3040. L'appel aurait lieu par une cheminée renfermant le tuyau à fumée du fourneau d'office et dans laquelle se rendrait l'air brûlé des poêles; il suffirait d'élever de 20° la température de l'air. En supposant la cheminée de 10 mètres de hauteur, la vitesse, abstraction faite des résistances, serait de $3^{m},80$, à laquelle il faudrait ajouter, pendant les jours de chauffage, la force ascensionnelle de l'air entre le poêle et

la double enveloppe. Les sections de passage de l'air étant suffisantes, la vitesse de l'air dans la cheminée sera toujours supérieure à 3 mètres. Comme 1 kilogramme de houille peut élever 1200 mètres cubes de 20°, la ventilation par malade et par heure coûterait $1^k,60 : 1200 = 0^k,05$, et par jour $0^k,05 . 24 = 1^k,20$. En comptant la houille à 5 fr. les 100 kilogrammes, la dépense pour la ventilation par malade et par jour s'élèverait à $0^f,06$, et par an à $21^f,90$, mais sans tenir compte des frais d'entretien et de service. Ces derniers frais seraient assez faibles, parce qu'on peut, avec une surveillance active, se passer d'un chauffeur spécial ; mais les frais d'entretien des appareils de chauffage et de ventilation se trouvant confondus dans la disposition indiquée ne laisseraient pas que d'être importants à cause des réparations assez fréquentes qu'exige le calorifère à air chaud et surtout de l'usure très-rapide des tuyaux en tôle dans lesquels circule la fumée.

3041. Pour la salle de 30 lits, prise comme exemple, la consommation de combustible dans la cheminée d'appel ne s'élèverait qu'à $1^k,50$ par heure, d'après les chiffres précédents ; c'est une consommation faible qui se réduirait encore l'hiver par l'effet de la chaleur restant dans la fumée des poêles-calorifères, et aussi parce que dans cette saison l'appel se trouve déjà favorisé par l'excès de la température intérieure sur l'extérieure.

Le foyer d'appel doit être à combustion lente, ce qu'on obtient en se servant de houille sèche, de coke ou d'anthracite, et en employant l'appareil de M. Joly ; ou mieux, tout simplement un cylindre d'argile terminé à la partie supérieure par une grille, au-dessous de laquelle se trouverait un cendrier fermé, garni d'un orifice pour l'accès de l'air et dont on pourrait régler à volonté l'ouverture. Les petites variations d'intensité du foyer seraient sans influence sur la ventilation à cause de la chaleur renfermée dans la maçonnerie de la cheminée.

3042. Je ne propose pas de mettre à profit la fumée, ou chaleur perdue, du fourneau d'office pour produire en partie l'appel par la cheminée de ventilation, parce que souvent on se dispense d'installer ce genre de fourneau en disposant un bain de sable au-dessus des poêles calorifères pour tenir les tisanes chaudes et que d'un autre côté, quand on en installe un, la chaleur perdue suffirait tout au plus pour l'appel nécessaire à l'assainissement des lieux d'aisances. En effet, un fourneau d'office desservant une salle de 30 lits brûlerait au plus 18 à 20 kilogrammes de houille par jour ; la chaleur de la cheminée d'un aussi petit foyer ne saurait être suffisante.

3043. Dans ce mode de ventilation, l'air de la pièce devrait constamment pénétrer dans la cheminée par sa partie inférieure; en hiver, il devrait aussi sortir de la salle par la partie inférieure, et en été, quand l'air extérieur est à une température plus basse que celle des salles, il devrait en sortir par la partie supérieure, car s'il en sortait par la partie inférieure, comme il tend à tomber sur le sol, il s'écoulerait sans avoir renouvelé l'air de la salle à une hauteur suffisante, et par suite, la ventilation serait moins efficace pour l'assainissement. Pour faire sortir l'air au niveau du sol et le plus uniformément possible, il faudrait pratiquer autour de la salle, dans l'épaisseur de la muraille, ou en saillie, un canal garni de nombreux orifices et aboutissant au bas de la cheminée; et pour le faire sortir par la partie supérieure de la pièce, le contour du plafond devra renfermer un canal également pourvu de nombreux orifices, et aboutissant à deux caisses verticales placées de chaque côté de la cheminée et qui déboucheraient en bas dans son intérieur. Les orifices des deux canaux de ceinture du bas et du haut seraient pourvus de registres dont on aurait déterminé la position de manière que chacun d'eux laissât passer le même volume d'air dans le même temps, et les écartements de ces registres étant ainsi fixés, les registres correspondants du plancher et du plafond seraient reliés entre eux par des tringles, de manière que les registres d'en haut soient fermés quand ceux d'en bas sont ouverts, et réciproquement.

3044. Le volume d'air sortant des salles pourrait facilement être constaté à chaque instant au moyen d'un anémomètre fixe à cadran. On pourrait aussi se servir d'un thermomètre à air (656), en déterminant par expérience quel doit être l'excès moyen de la température de l'air dans la cheminée, pendant les mois de chauffage et en été.

L'ouverture du foyer devrait être placée dans la petite office qui se trouve à côté de la salle des malades.

Il serait très-important de garnir le sommet de la cheminée d'un appareil destiné à éviter l'action des vents.

3045. Pour un petit hôpital, le mode précédent de chauffage et de ventilation serait préférable, sous le rapport de la dépense d'installation, à tous les autres modes. Et sous le rapport du bon fonctionnement et de la dépense annuelle, il vaudrait encore mieux que l'emploi des appareils à eau chaude, mais non que celui du système mécanique avec utilisation de la vapeur pour le chauffage. On a souvent dit, même dans des rapports officiels, que les appareils à eau chaude offraient l'avantage spécial de dispenser de tous soins même

pendant la nuit, et par conséquent de supprimer les frais d'un chauffeur de nuit ; ceci est une erreur grave, qui a été funeste à bien des malades. Il est facile de le prouver : supposons que le soir on cesse le feu dans le foyer d'un appareil de chauffage et de ventilation à l'eau chaude, la pression de l'eau étant même à sa limite supérieure et les salles à 16° ou 17° ; nécessairement l'appareil se refroidira, et ce refroidissement sera d'autant plus rapide que la température extérieure s'abaisse à mesure que la nuit avance ; le matin, de 3 à 6 heures, cette température sera à son minimum, et elle réagira d'autant plus sur celle des salles que ces dernières recevront moins de chaleur des poêles, dont l'eau se trouvera alors notablement refroidie. Ainsi l'abaissement de la température extérieure s'ajoutera à celui de l'eau pour refroidir les salles. Ce refroidissement des salles a été tel dans un hôpital muni d'appareils à eau chaude du système de M. Duvoir-Leblanc, qu'il a donné lieu aux plaintes des malades, et que le directeur, après s'être assuré de leur bien fondé au moyen d'un thermomètre *a minimâ*, a été obligé de prendre des mesures pour y faire droit. Déjà, comme je l'ai indiqué, les appareils à eau chaude ne sont pas assez sensibles pendant le jour, malgré la présence du chauffeur, pour empêcher les variations de la température extérieure de réagir d'une façon incommode sur l'intérieure.

3046. Ainsi tous les modes de chauffage et de ventilation exigent dans les hôpitaux des soins continus, pour obtenir la régularité d'effet. Seulement ces soins peuvent être donnés, dans les petits hôpitaux, aux calorifères à eau chaude et à ceux à air chaud, ainsi qu'aux cheminées d'appel, par les gardes-malades, tandis que la ventilation mécanique exige un chauffeur, dont les frais ne seraient pas toujours alors compensés par l'économie de charbon résultant de l'utilisation de la vapeur de la machine.

3047. Il résulte des considérations précédentes qu'à cause de la nécessité d'avoir un chauffeur et de l'accroissement de la dépense d'installation, on ne doit donner la préférence à l'emploi d'une machine ventilante avec chauffage à la vapeur, que lorsqu'il s'agit d'un hôpital de cent lits et plus. Toutefois, une machine ventilante devrait être préférée à une cheminée d'appel, même pour les plus petits hôpitaux, lorsqu'il serait possible de lui donner le mouvement à l'aide d'une turbine mettant à profit la chute de l'eau employée dans l'établissement. Dans nombre de villes, l'eau se trouve à une assez grande hauteur pour qu'en se rendant aux réservoirs de l'hôpital, elle puisse produire la force voulue pour une ventilation insufflée.

au moins la nuit ; l'appareil serait alors si simple, qu'il fonctionnerait sans une surveillance spéciale pendant la nuit.

3048. Quand il s'agit d'un hôpital renfermant un grand nombre de malades, la ventilation mécanique par insufflation devient beaucoup plus avantageuse, dans tous les cas et sous tous les rapports, même sous celui de la dépense, en y comprenant toute espèce de frais.

3049. Sous le rapport de la salubrité, l'air peut être pris à une grande hauteur dans l'atmosphère, comme à Lariboisière, où il est certainement plus pur qu'à la surface du sol et même qu'à une certaine distance de celui-ci. L'air étant insufflé et projeté de bas en haut, les vapeurs odorantes sont plus rapidement entraînées que par le même volume d'air appelé, comme le démontrent d'ailleurs les expériences faites à Beaujon par M. Grassi. Enfin on peut plus facilement accroître la ventilation, en cas d'urgence, que par une cheminée d'appel, dont l'effet n'augmente que très-lentement avec la consommation de combustible, et a d'ailleurs un maximum qui ne peut pas être dépassé.

3050. Sous le rapport de la dépense annuelle, les frais de chauffeur et de surveillance des machines restent les mêmes, que la force soit de deux ou dix chevaux. La chaleur de la vapeur d'échappement étant employée utilement, la dépense réelle pour le chauffage et la ventilation se réduirait à la dépense du chauffage seul, aux gages des chauffeurs, aux frais d'entretien des machines et à l'intérêt du capital employé à la construction des appareils. Mais dans de grands établissements le chauffage par un foyer unique, au moyen de la vapeur, revient certainement à un prix moins élevé, à effet égal, que e chauffage partiel par les poêles ou les calorifères, en y comprenant les dépenses de toute espèce. Comme l'accroissement de dépense résultant des appareils relatifs à la ventilation et à l'emploi utile de la chaleur serait peu considérable, à mon avis, il n'y a pas à hésiter à produire en même temps le chauffage et la ventilation par la vapeur, en utilisant la chaleur de la vapeur détendue au chauffage de l'air de ventilation et aux différents services dans lesquels elle pourrait toujours être utilisée en totalité. Pour chaque établissement une étude sérieuse de la question examinée dans la suppression d'un chauffage et d'une ventilation de chaque salle, ou de chaque pavillon, par des poêles et des cheminées d'appel, et d'un chauffage et d'une ventilation mécaniques au moyen d'un seul foyer, conduirait facilement à une appréciation exacte des dépenses dans les deux cas. Le plus souvent la dépense d'installation de la ventilation insufflée avec chauf-

fage par la vapeur se trouvera bien réduite par l'existence d'une chaudière à vapeur et quelquefois même d'une machine servant aux bains et à la buanderie.

3051. Les dispositions les plus convenables seraient encore celles qui ont été employées à l'hôpital Lariboisière, où les mêmes générateurs, la même machine, desservis par les mêmes chauffeurs, sont employés à la fois, pour le chauffage, la ventilation, les bains, la buanderie et l'élévation de l'eau. Il y aurait cependant à examiner s'il ne serait pas plus avantageux de conduire l'air lancé par les machines dans des canaux souterrains en maçonnerie dont les surfaces seraient recouvertes de différents enduits propres à éviter les pertes et l'humidité, comme le ciment hydraulique, le plâtre aluné, le bitume; mais ce moyen n'est guère praticable que lors de la construction des bâtiments. Il est toujours avantageux de faire écouler l'air dans les salles par des jets verticaux dirigés de bas en haut. Il est important que les veines d'accès de l'air extérieur soient dirigées de bas en haut, et qu'elles partent d'une certaine hauteur; elles tendent alors à gagner la partie supérieure des salles ; ce qui arrive nécessairement quand la température de ces veines est plus élevée que celle de la salle ; si le contraire avait lieu, comme en été, la vitesse d'écoulement serait diminuée, et l'air lancé, appelé d'ailleurs par les cheminées partielles d'écoulement, pourrait ne pas atteindre une hauteur suffisante pour l'assainissement. Je pense qu'il serait toujours utile d'avoir des orifices dans les gaînes d'évacuation qu'on n'ouvrirait que dans les circonstances convenables, quand l'air extérieur arriverait à une température bien inférieure à celle des salles : dans ce cas il serait utile de faire tomber les veines d'air froid sur le sol en les recouvrant d'un chapeau.

3052. Quant à la machine ventilante elle-même, il est peu important qu'elle utilise une portion plus ou moins grande du travail de la vapeur, du moment où la chaleur de la vapeur détendue peut être employée utilement. Mais il serait dans tous les cas important d'employer les appareils les plus simples, et de les disposer de manière à ce qu'ils ne fissent pas de bruit.

3053. Sous le rapport de l'assainissement, il y aurait sans aucun doute un grand avantage à faire arriver l'air extérieur par un grand nombre d'orifices percés dans le plancher et surtout autour des lits et à faire sortir l'air par des orifices pratiqués dans le plafond ou seulement par des orifices percés dans un canal qui ferait le tour du plafond : parce que chaque malade respirerait constam-

ment de l'air pur, tandis que dans la disposition ordinaire il ne respire qne de l'air déjà plus ou moins vicié par son séjour dans la salle. Mais cette disposition présenterait des difficultés d'exécution, et on pourrait craindre que si des matières insalubres pénétraient dans les orifices du plancher, ce qu'il serait bien difficile d'éviter, ces matières ne devinssent des foyers permanents d'insalubrité de l'air. En outre, il faudrait que la chaleur transmise par les vitres et les murailles fût fournie par des surfaces rayonnantes; autrement il se formerait des courants d'air descendants contre les surfaces intérieures des vitres et des murailles qui ramèneraient sur le plancher de l'air plus ou moins vicié qui se mêlerait avec l'air de ventilation.

Quoique les appareils de chauffage et de ventilation disposés selon la méthode ordinaire, dans lesquels l'air marche d'abord de bas en haut, et ensuite de haut en bas, laissent quelque chose à désirer sous le rapport de la pureté de l'air respiré par les malades, mais d'autant moins que le volume employé est plus grand, il serait cependant bien à souhaiter que tous les hôpitaux fussent pourvus de semblables appareils; il en résulterait, sans aucun doute, une très-grande amélioration dans l'état sanitaire, et certainement la disparition des maladies spéciales aux hôpitaux qui proviennent de l'absence d'une ventilation efficace, régulière et suffisante.

3054. Quoique la ventilation mécanique insufflée soit bien préférable, sous tous les rapports à la ventilation par une cheminée d'appel, même partant du sol, du moins pour les grands hôpitaux, on comprend facilement que certaines personnes redoutent l'emploi des machines, dont elles s'exagèrent les embarras, et regardent comme préférable la ventilation par une cheminée d'appel, à cause de sa simplicité, de l'absence de toute espèce de dérangement, et malgré l'accroissement de dépense de combustible, accroissement un peu atténué par l'intérêt du capital dépensé en machines et par les frais d'entretien. Sous le rapport de la consommation, la dépense réelle serait pourtant très-considérable ; car la consommation de combustible pour la ventilation par une cheminée, s'élevant à peu près à 21^{kil},90 par lit, pour un hôpital de 600 lits, elle atteint 13140 fr., somme certainement beaucoup plus considérable que l'intérêt du capital dépensé en machines, que les frais d'entretien et de charbon et le salaire du mécanicien. Il est à remarquer que les dépenses de premier établissement pour les conduits d'air, allant de la machine aux salles ou des salles à la cheminée, seraient plutôt inférieures dans le premier cas que supérieures à celles du second.

L'objection principale contre l'emploi de la ventilation mécanique disparaît dans les établissements où il existe déjà une chaudière à vapeur, où une machine pour d'autres services.

Dans le cas d'une ventilation par pulsion, ou par appel, le chauffage peut s'effectuer à la vapeur ou à l'eau chaude ; mais avec ce dernier mode, le volume d'eau dans les poêles ne devrait être que très-faible, afin que le chauffage puisse suivre un peu les variations de la température extérieure.

3055. Dans le cas d'une ventilation par appel, une cheminée partant des combles et renfermant des poêles, ou calorifères, à eau chaude, serait la plus mauvaise disposition qu'on puisse employer : 1° parce que l'appel du même volume d'air exigerait une plus grande dépense de chaleur que quand on fait descendre l'air et qu'on le fait écouler par une cheminée d'appel partant du sol, comme je l'ai démontré (2410) ; 2° parce que les surfaces de chauffe de l'air, devant avoir une étendue considérable, occasionneraient de grands frais d'établissement ; 3° parce qu'il serait assez difficile d'avoir une mesure permanente de la ventilation, et par conséquent de la régler, même quand le chauffage du poêle de la cheminée s'effectuerait par un foyer spécial.

3056. Mais dans tous les systèmes et les dispositions possibles de chauffage et de ventilation, je ne puis trop le répéter, il est nécessaire d'installer dans les salles, ou à proximité, un appareil permanent indiquant à chaque instant l'état de la ventilation, et un autre enregistrant la ventilation ; ces appareils sont surtout indispensables quand la ventilation est donnée à forfait. Un entrepreneur de chauffage et de ventilation à forfait qui voudrait, sous un prétexte quelconque, se soustraire à l'établissement de ces appareils de contrôle, pourrait évidemment être soupçonné de ne pas vouloir exécuter loyalement son traité.

Avec la ventilation mécanique, l'appareil enregistreur peut simplement consister dans un compteur ordinaire adapté, soit à la machine motrice, soit au ventilateur. Mais l'enregistrement ne laisse pas que de devenir compliqué et sujet à erreur pour les divers modes de ventilation par appel.

3057. Le contrôle de la température des salles n'est pas moins indispensable que celui du volume d'air : on le réalise très-facilement pendant le jour avec des thermomètres ordinaires ; mais pour la nuit, l'emploi de thermomètres *a minimâ* devient nécessaire. L'application de ces derniers thermomètres a montré combien est erro-

née l'opinion des personnes qui ont écrit, et même consigné dans des rapports officiels, qu'avec le chauffage à l'eau chaude, on pouvait entièrement suspendre le feu la nuit, sans que la température des salles descendît sensiblement au-dessous du chiffre réglementaire de 15°. La température descend bien au-dessous de ce chiffre déjà beaucoup trop faible.

3058. Malheureusement, il existe quelques grands hôpitaux dont les administrations ne peuvent pas faire la dépense qu'exigerait la construction des appareils de ventilation, et qui ne peuvent réellement opérer que des améliorations successives très-peu coûteuses. Pour ces établissements, il n'y a qu'un parti à prendre, c'est de ventiler successivement les salles par une cheminée d'appel, comme je l'ai indiqué précédemment en parlant des petits hôpitaux. Les dépenses en frais d'établissement seraient assez faibles ; car partout il y a des poêles ; et il suffirait de les entourer d'une enveloppe en terre cuite ou en métal, de faire communiquer l'intervalle des poêles et des enveloppes avec l'air extérieur et d'établir une cheminée d'une section suffisante renfermant la cheminée en tôle ou en fonte du fourneau d'office recevant l'air brûlé des tuyaux de poêle, enfin, de mettre en communication le bas de la cheminée d'appel avec des canaux placés à la partie inférieure et supérieure de la pièce, percés d'orifices convenablement placés. Je pense que, pour obtenir une grande uniformité de chauffage et de ventilation, il serait nécessaire que le nombre des lits ne dépassât pas 20 par salle. L'amélioration qui résulterait de ces dispositions exigerait peu de dépenses, et serait déjà un grand progrès sur ce qui existe dans nombre d'hôpitaux, quand même on réduirait ces modifications à l'accès de l'air extérieur par l'intervalle des poêles et de leurs enveloppes et à une cheminée d'appel seulement ouverte par le bas.

3059. C'est une question qui a considérablement préoccupé les médecins et les hygiénistes que de savoir s'il ne faudrait pas mieux avoir de petits hôpitaux disséminés que de rassembler un grand nombre de malades sur un même point dans de grands hôpitaux bâtis avec luxe, alors même que ceux-ci sont pourvus de toutes les dispositions les plus efficaces au point de vue de la ventilation. Nous n'avons pas à prendre parti dans la discussion qui reste ouverte à ce sujet. Notre but était seulement d'indiquer dans chaque disposition adoptée les meilleurs moyens à employer pour arriver à l'assainissement le plus désirable, et c'est ce que nous avons fait. Nous devons dire cependant que l'opinion qui paraît le plus

généralement admise par les médecins c' est qu'il y aurait avantage dans tous les cas à disséminer autant que possible les hôpitaux, à réduire autant que possible leur nombre de lits, à multiplier les secours à domicile et surtout à se préoccuper sérieusement de l'isolement des malades atteints d'affections épidémiques ou infectieuses. A cet égard, des résultats d'expériences importantes et longuement continuées ont été faites sur différents points et en particulier en ce qui concerne les maternités ; un travail important du docteur Stolz, de Saint-Pétersbourg, fournit les résultats obtenus dans cette ville.

3060. Depuis le 20 décembre 1868, on a ouvert successivement dans cette capitale des asiles d'accouchements dans les *édifices publics* des différents quartiers de la ville; ces asiles contiennent trois lits et une chambre séparée pour le *travail;* ils sont réunis par des fils télégraphiques; les femmes atteintes de maladies contagieuses n'y sont pas admises, elles sont dirigées sur un asile spécial. En cas de fièvre puerpérale, l'asile est fermé pendant quelque temps; les accouchées bien portantes sont transportées dans d'autres asiles; les malades restent dans l'asile ou sont transportées dans un hôpital où il n'y a pas de section pour les accouchées; l'asile, après que les malades l'ont quitté, est aéré et purifié pendant 15 jours.

Voici les résultats obtenus par cette organisation :

Années	Nombre d'asiles existant.	Nombre total des accouchées.	Nombre des mortes.		
1869	4	246	3	soit	1.2 °/₀.
1870	6	839	14		1.6
1871	8	1052	11		1.0
1872	9	1349	20		1.5
1873	10	1486	13		0.9
1874	10	1513	8		0.5
1875	10	1427	11		0.8

On voit que la mortalité diminue avec le chiffre moyen de personnes reçues dans chaque asile et tend à devenir égale à la mortalité en ville qui s'élève d'après le docteur Hugenberger à 0,66 p. 100 à Saint-Pétersbourg.

Voici, d'autre part, les résultats observés pendant la même période dans des maternités et des hôpitaux de Saint-Pétersbourg où l'agglomération des femmes en couches est notablement plus considérable.

Hopitaux.	Période.	Nombre total des accouchées.	Nombre des lits dans une même salle.	Nombre des mortes.	
Kalinkowski.....	1870-75	584		7 soit	1.2 %.
Mariinski.....	1872-75	1951	10 à 15	40	2.0
Institut des sages-femmes.	1869-75	6046	30 à 40	155	2.6
Maternité.....	1870-75	12266	70	486	4.0

Nous n'avons pu résister au désir de citer ces chiffres dont on peut tirer une conclusion immédiate.

3061. La théorie qui rattache la production des maladies infectieuses et épidémiques à des germes particuliers à chaque genre de maladie, et qui a pris dans ces derniers temps une grande valeur à la suite des travaux de M. Pasteur, donne un poids considérable à une considération à laquelle on ne s'est pas peut-être suffisamment arrêté jusqu'ici : Que deviennnent les miasmes des hôpitaux et les germes morbides lorsqu'ils ont été rejetés dans l'atmosphère avec l'air vicié de la ventilation des hôpitaux? Ces germes ne vont-ils pas servir de véhicule à des maladies qui vont se répandre avec eux sur les populations agglomérées autour des bâtiments hospitaliers? C'est en vue d'éviter cette diffusion du danger que divers inventeurs ont cru devoir proposer des systèmes destinés à porter l'air vicié des hôpitaux à une température élevée avant de le rejeter dans l'atmosphère; par cette opération, on détruit complétement les germes qui peuvent se trouver dans l'air; M. Wœstyn a proposé de faire traverser à l'air vicié une colonne d'amiante chauffée par des rampes à gaz. A l'exposition d'hygiène et de sauvetage de Bruxelles en 1876, M. Moulin, mécanicien à Bruxelles, avait exposé un appareil partie en métal, partie en terre réfractaire et au moyen duquel l'air vicié serait porté à une température de 300°. Il n'est pas douteux qu'en principe l'emploi d'une température élevée soit un moyen efficace et le seul probablement qu'on connaisse pour arriver à la destruction des germes morbides; mais les inventeurs n'ont certainement pas réfléchi à la dépense énorme qu'entraînerait l'emploi de leur système, du moins dans les conditions où ils veulent l'appliquer.

3062. En supposant un hôpital de 400 lits et une ventilation de 60 mètres cubes par lit et par heure, le nombre de calories à produire serait par heure égal à $400 \times 60 \times 1,3 \times 0°,24 \times 300 =$ 2246400 calories, et comme un mètre cube de gaz fournit à peu près 5300 calories, cette production de chaleur suppose qu'on brûlerait 415 mètres cubes de gaz; en le comptant seulement à

0 fr. 15 le mètre cube on arrive à une dépense de 62 fr. 40 par heure, soit 1497 francs par jour de 24 heures, soit 546405 francs par année. Ce calcul suppose que toute la chaleur du gaz serait utilisée par l'appareil ; la dépense serait moindre si l'on employait la houille et se trouverait réduite au tiers environ ; la solution du problème serait peut-être obtenue par l'emploi d'appareils analogues à ceux que nous avons décrits (2000 et suivants), mais en combinant leur emploi avec celui d'un récupérateur de chaleur analogue aux appareils Siemens de façon à diminuer la dépense d'une façon notable,

3063. C'est une considération du même ordre qui a fait installer en Angleterre et en Allemagne des procédés pour la désinfection par l'air chaud des objets, vêtements, literies, etc., ayant servi aux personnes atteintes de maladies contagieuses. M. Valin, professeur d'hygiène militaire au Val-de-Grâce a indiqué dans une communication faite à la Société de médecine publique et d'hygiène professionnelle (27 juin 1877) les principes sur lesquels repose cette désinfection. Par des expériences directes, il établit que les tissus et en particulier la laine peuvent supporter impunément pendant un certain nombre d'heures une température de 110 à 115°; ce n'est qu'au-dessus de cette température que la laine commence à se colorer, et la résistance du tissu ne s'altère que lorsque le chauffage atteint la température de 150° maintenue pendant deux heures. D'autre part, il paraît démontré que la plupart des germes, à l'exception peut-être du poison septique, peuvent être détruits à une température inférieure à 110°, c'est donc à cette température qu'il faudra chauffer les tissus, la laine, le crin, etc., sans la dépasser pour ne pas altérer les objets chauffés. Nous n'entrerons pas dans le détail des fours ou étuves construits pour arriver à ce résultat; ils peuvent être chauffés à la houille, au coke, au bois, au gaz; mais, dans tous les cas, ils doivent être disposés de façon à ce que la température y soit constante et l'emploi d'un régulateur de la température s'y trouve naturellement indiqué. D'après M. Valin, il est bon que l'air de l'étuve soit toujours pourvu d'une quantité notable d'humidité, cette circonstance favorisant la destruction des germes. Ces procédés n'ont pas encore reçu d'application en France et M. Valin insiste vivement pour « qu'on fasse, à Paris ou quelque part en France, l'essai d'un procédé qui semble rendre à l'étranger des services véritables. »

CHAPITRE VII

Chauffage et assainissement des écoles primaires et des salles d'asile, des maisons d'éducation, etc.

Écoles primaires et salles d'asile.

3064. Les écoles primaires et les salles d'asile sont quelquefois insalubres par l'humidité du sol, ou par les mauvaises dispositions des latrines ; mais elles le sont surtout par le défaut de ventilation, d'autant plus que les salles contiennent habituellement bien plus d'élèves qu'elles ne devaient en recevoir, et qu'elles n'ont jamais une grande hauteur. A la vérité, on peut renouveler l'air des salles le matin et entre les classes ; on peut même, dans les moments de température convenable, ouvrir les fenêtres pendant les classes ; mais le renouvellement périodique de l'air, en supposant qu'il ait lieu complétement, n'est pas suffisant ; et il est peu de jours de l'année, pendant lesquels on puisse maintenir constamment les fenêtres ouvertes, à cause de mille circonstances, telles que le bruit extérieur, la pluie, le vent et le froid. Aussi, dans toutes les saisons, le plus souvent après moins d'une heure de séjour des enfants, les salles d'école et les salles d'asile ont contracté une odeur insupportable. La santé des enfants et celle des maîtres doivent nécessairement souffrir d'un séjour prolongé, et qui se renouvelle si souvent, dans un air rendu fétide par la respiration et la malpropreté des enfants.

L'assainissement des écoles primaires et des salles d'asile, par un renouvellement convenable de l'air, est donc une chose importante, bien digne d'appeler toute la sollicitude des personnes qui, à différents titres, participent ou à la direction ou à la surveillance de ces établissements.

3065. Pendant l'inspection générale dont je fus chargé en 1840, j'eus l'occasion de visiter quelques écoles primaires annexées aux écoles normales ; leur insalubrité résultant de la stagnation de l'air me frappa tellement, qu'à mon retour je crus devoir adresser au ministre de l'Instruction publique, les plus vives réclamations sur un état de choses qui compromettait à un si haut degré la santé des enfants. A la suite de mon rapport, et par ordre du ministre, j'ai rédigé une instruction sur le chauffage et l'assainissement des écoles

primaires et des salles d'asile. Cette instruction a été imprimée aux frais de l'État, et distribuée aux personnes qui, par leur position, pouvaient concourir à l'amélioration du système actuel. Je résumerai en peu de mots les principes et les détails renfermés dans cette instruction et les améliorations que l'expérience a indiquées depuis.

Indépendamment des conditions relatives au chauffage et à la ventilation auxquelles l'appareil doit satisfaire, il faut, en outre, que l'appareil soit d'une extrême simplicité, facile à réparer, à l'abri de tout accident; qu'il utilise la chaleur le mieux possible; qu'il soit placé dans la pièce elle-même, parce que le maître doit le diriger. On ne peut satisfaire à ces conditions qu'en employant un calorifère dans lequel l'air est chauffé sans autre intermédiaire que des plaques métalliques.

3066. Les figures 694, 695 et 696 représentent l'ensemble des dispositions les plus simples et les plus convenables pour les établissements dont il s'agit. La première représente une coupe longitudinale d'un bâtiment renfermant une école à deux étages; la figure 695, une coupe verticale par les poêles; la figure 696, une coupe verti-

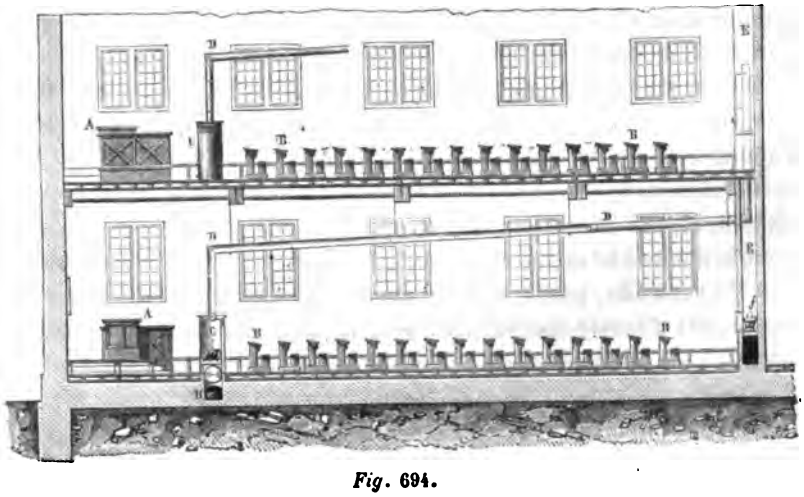


Fig. 694.

cale à une échelle un peu plus grande, dans laquelle on voit une projection de la cheminée d'appel. A, estrade du maître; B, B, bancs des élèves; C, C, calorifères chauffant de l'air appelé de l'extérieur; D, D, tuyaux à fumée qui parcourent la salle dans toute sa longueur, et se rendent dans la cheminée d'appel; E, cheminée d'appel; F, F,

caisses en bois ou en plâtre, placées de chaque côté de la cheminée, communiquant avec elle, chacune par un orifice latéral situé près du plancher et au-dessous de la grille du foyer; G, G, orifices d'appel de l'air de la pièce, les premiers sont placés près du sol, les deux autres près du plafond; ceux qui sont d'un même côté peuvent être

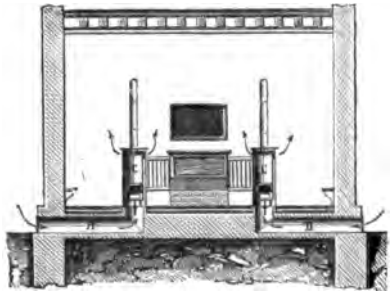


Fig 695.

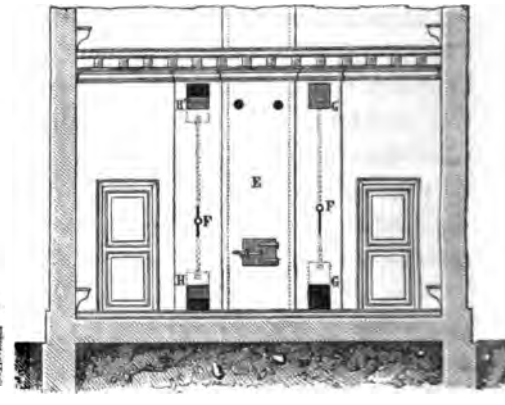


Fig. 696.

plus ou moins fermés par des registres reliés par une tringle, de manière que, quand un de ces orifices est fermé, l'autre est ouvert. H, H, tuyaux communiquant avec l'extérieur et avec l'intervalle compris entre chaque poêle et son enveloppe. L'air échauffé se rend d'abord à la partie supérieure de la salle, et descend par couches isothermes jusqu'au niveau du sol où se trouvent, en hiver, les orifices d'appel, et, par conséquent, la température de la salle est sensiblement la même à la même hauteur. Les calorifères doivent être placés près de l'estrade, parce qu'ils doivent être surveillés par le maître. Les tuyaux à fumée doivent traverser la salle, non-seulement pour y répartir plus uniformément la chaleur, mais surtout pour obtenir une plus grande économie de combustible en refroidissant presque complétement l'air brûlé. Les orifices situés près du plafond ne peuvent servir qu'en été. Pendant les jours de chauffage, la ventilation résulte de la force ascensionnelle de l'air extérieur autour des poêles et de celle de l'air dans la cheminée dont la température est égale à celle de la salle, augmentée à une certaine hauteur par la chaleur de l'air brûlé des poêles. En général, le foyer placé au bas de la cheminée ne doit servir que dans certains jours d'été.

3067. On pourrait introduire dans cette disposition générale quel-

ques modifications assez importantes. Pour chauffer économiquement la salle, avant l'arrivée des élèves, moment où on n'a pas encore besoin de ventilation, il faudrait effectuer ce chauffage par la circulation du même air autour des poêles, et pour cela il faudrait : 1° établir une communication des enveloppes avec la salle près du sol, qu'on fermerait quand la ventilation devrait être rétablie ; 2 rendre indépendants les registres d'accès de l'air dans les deux coffres placés de chaque côté de la cheminée, afin de pouvoir supprimer la sortie de l'air. Enfin, il serait utile de favoriser la sortie de l'air en été, quand la ventilation n'a pas besoin d'être activée par le foyer d'appel. En pratiquant dans la cheminée, et à la hauteur du plafond, une ouverture fermée par un registre, qu'on maintiendrait complétement ouvert dans le cas dont il est question ; l'air n'éprouvant que peu de résistance, s'écoulerait avec une plus grande vitesse que quand il descend par les caisses latérales F, dans lesquelles il subit trois changements de direction à angle droit.

3068. Pour les salles d'asile, il est nécessaire de chauffer et de ventiler la salle et le préau. Dans la salle, le calorifère doit être placé à l'extrémité opposée aux gradins occupés par les enfants, et il convient de faire sortir l'air par des orifices très-nombreux percés dans les contre-marches et d'une section totale quatre ou cinq fois plus grande que celle de la cheminée d'appel, afin que la vitesse de l'air y soit insensible, ou seulement par quatre ou cinq orifices percés près du sol sur les faces latérales des gradins.

3069. Lorsqu'il n'y a qu'un seul calorifère, il est préférable de le placer au milieu de la salle. Quand il y en a deux, il convient de les disposer de manière que la distance qui les sépare soit double de leur distance aux murs latéraux. Pour les salles dont la longueur dépasse 30 mètres, et qui sont destinées à renfermer plus de 300 enfants, si on plaçait les calorifères à une extrémité, la fumée arriverait trop refroidie dans la cheminée d'appel, et le renouvellement de l'air pourrait être insuffisant ; dans ce cas, il serait plus convenable de placer les calorifères près du milieu de la salle, et de donner à chacun d'eux deux tuyaux de fumée aboutissant, l'un à droite, l'autre à gauche, à une cheminée d'appel placée à chaque extrémité ; des registres permettraient de répartir également la fumée dans chacun des tuyaux. On pourrait aussi effectuer séparément le chauffage et la ventilation par des appareils distincts. Les calorifères, placés à une extrémité, auraient des tuyaux à fumée qui, après avoir parcouru une partie de la salle, reviendraient sur eux-mêmes pour gagner

une cheminée commune, et, à l'autre extrémité, on placerait un petit poêle sans enveloppe, dont le tuyau se rendrait directement dans la cheminée d'appel.

3070. Les calorifères sont disposés comme l'indiquent les figures 697, 698, 699. La première est une élévation ; les deux autres

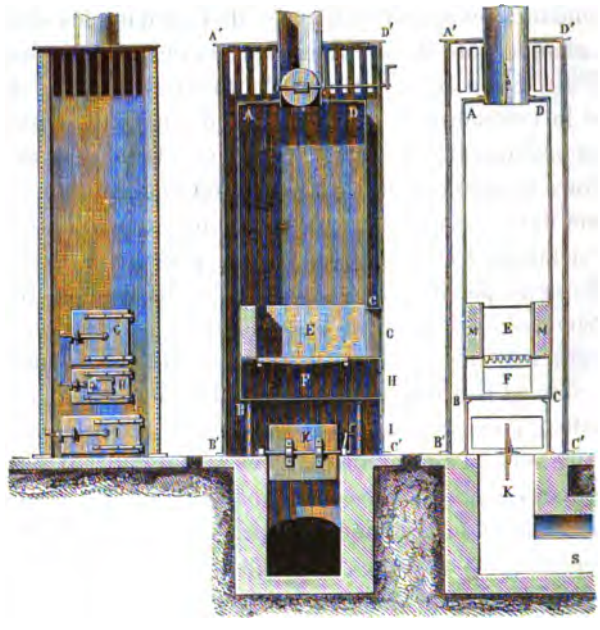


Fig. 697. *Fig.* 698. *Fig.* 699.

sont deux coupes verticales : ABCD, prisme rectangulaire en tôle ou en fonte qui entoure le foyer ; A'B'C'D', prisme intérieur en tôle fixé sur le sol ; E, foyer ; F, cendrier ; G, porte du foyer ; H, porte du cendrier ; I, porte au-dessous du cendrier et qui ne reste ouverte que lorsqu'on chauffe la pièce sans la ventiler ; R, registre tournant qui permet d'intercepter la communication de la salle avec l'extérieur ; on peut le maintenir dans différentes positions au moyen d'une manivelle dont l'extrémité est munie d'une cheville qui s'engage dans des trous percés sur un demi-cercle en fer fixé sur le sol ; M, briques qui environnent le foyer ; S, canal qui amène l'air extérieur dans le calorifère. On donne aussi souvent à ce calorifère la forme cylindrique.

Il est facile d'utiliser les poêles déjà existants en les entourant

d'une chemise en tôle, garnie de deux portes, l'une en face de celle du foyer du poêle, l'autre du côté opposé, pour chauffer l'air de la pièce, sans ventilation, avant l'heure des classes ; mais une communication avec l'extérieur, et un registre destiné à intercepter, à volonté, cette communication, devient alors indispensable.

Pour des salles destinées à renfermer 150 élèves, on doit donner aux tuyaux à fumée au moins $0^m,15$ de diamètre ; pour des salles plus grandes, il serait convenable de les porter à $0^m,18$ ou $0^m,20$. Ces diamètres suffisent pour le tirage ; de plus grands auraient l'inconvénient de refroidir trop la fumée et de diminuer l'effet des cheminées d'appel. Il en serait de même si on donnait aux tuyaux un trop long développement, ou si on leur faisait faire trop de coudes. Il est indispensable pour un bon fonctionnement que la fumée ne sorte pas trop refroidie. Les diamètres des tuyaux croissent peu avec le nombre des élèves : 1° parce qu'au delà de 50 élèves, nous supposons qu'on emploie deux calorifères ; 2° parce qu'en réalité, la dépense de combustible augmente peu. Ce fait résulte de ce que la surface des vitres et des murailles, par lesquelles se perd une grande partie de la chaleur, n'augmente pas proportionnellement au nombre des élèves, et de ce que la chaleur produite par l'acte de la respiration fournit une portion notable de la quantité de chaleur nécessaire.

Les dimensions du cylindre intérieur des poêles sont à peu près $1^m,20$ de hauteur sur $0^m,40$ de largeur. L'enveloppe extérieure peut être en tôle, en fonte ou en terre cuite ; cette dernière matière aurait l'avantage de diminuer la température de la surface extérieure ; dans ce cas, le cylindre ou le prisme extérieur doit avoir des dimensions telles que la section de l'intervalle entre cette surface et celle du foyer soit au moins égale à une fois et demie celle du canal d'appel correspondant, à cause de l'accroissement de volume de l'air par son échauffement.

3071. Il est très-important que les orifices extérieurs des tuyaux d'appel de l'air soient placés dans un lieu découvert, loin des latrines, à une assez grande hauteur au-dessus du sol quand on le peut, enfin à l'abri de toutes les influences qui peuvent vicier l'air. Il faut surtout éviter de faire les prises d'air dans les pièces où les enfants déposent leurs paniers, parce que l'air n'y est jamais bien pur. Les tuyaux peuvent être placés au-dessous du sol, dans l'intervalle des planchers ou dans l'embrasure des fenêtres ; ils peuvent être en maçonnerie ou en bois, d'une forme quelconque. Leur section doit être à peu près de 6, 12, 18, 24, 30 et 36 décimètres

carrés pour une salle renfermant 50, 100, 150, 200, 250, 300 enfants ; ces sections suffisent lorsque la longueur des canaux n'excède pas 8 à 10 mètres ; pour des longueurs plus considérables, il faudrait les augmenter ; mais il y aurait avantage à donner aux tuyaux d'appel des sections beaucoup plus considérables, et on doit ne les regarder que comme un minimum souvent insuffisant.

3072. La cheminée d'appel peut être construite en maçonnerie ou en tôle. Sa section doit peu différer de celle des tuyaux d'appel. Si on lui donnait une section plus grande, la vitesse d'écoulement serait trop petite, et il deviendrait difficile de s'opposer à l'action des vents sur l'orifice supérieur. Ainsi il est prudent de ne pas augmenter beaucoup la section indiquée. Cependant, si l'on voulait utiliser, pour la ventilation, une cheminée déjà construite, dont la section serait beaucoup trop grande, on pourrait le faire, pourvu qu'on rétrécît convenablement l'orifice supérieur. La cheminée doit s'élever au-dessus des toits, et se terminer par un chapeau en tôle, destiné à éviter le refoulement du mélange d'air et de fumée par l'action des vents. Si le bâtiment était dominé par des édifices très-élevés, les remous, produits par les vents violents, pourraient faire refouler l'air de la cheminée dans la pièce ; alors il vaudrait mieux prolonger le tuyau à fumée dans toute la longueur de la cheminée et de quelques mètres au-dessus de son sommet, et protéger la cheminée ainsi que le tuyau par un chapeau, convenablement disposé.

3073. Dans les circonstances ordinaires des écoles, et pour Paris et le nord de la France, la consommation de la houille, dans les jours les plus froids de l'hiver, n'excédera pas 2, 3, 4, 5, 6 et 7 kilogrammes par heure, pour des salles renfermant 50, 100, 150, 200, 250 et 300 élèves.

3074. Le chauffage doit être conduit de la manière suivante : Une heure avant l'entrée des élèves, on allume les foyers des calorifères, après avoir fermé les orifices par lesquels arrive l'air extérieur et ceux d'accès dans la cheminée d'appel, en laissant ouvert l'orifice par lequel l'air de la pièce peut pénétrer dans l'intérieur des enveloppes : le chauffage a lieu par la circulation de l'air de la pièce ; et, quelques instants après l'arrivée des élèves, on établit la ventilation.

3075. La ventilation d'été se produit, quand la température et d'autres circonstances le permettent, par l'ouverture des portes et des fenêtres ; mais il est facile de la produire artificiellement sans rien changer aux dispositions des appareils ; il suffirait pour cela d'allumer un petit foyer placé au bas de la cheminée ; l'air extérieur en-

trera comme pendant l'hiver par les intervalles des poêles et de leurs enveloppes ; si les veines d'accès sont horizontales, l'air à l'entrée étant en général plus froid que l'air extérieur, tombera sur le sol, et alors, pour que l'air de la pièce soit renouvelé, il faudra le faire arriver dans la cheminée par les orifices supérieurs ; mais si les veines sont verticales, il y aura deux actions opposées qui tendront, l'une à faire monter l'air, l'autre à le faire descendre, et l'expérience seule pourra faire connaître s'il faut faire sortir l'air de la pièce par le haut ou par le bas.

Pour une école de 250 à 300 élèves, les frais d'établissement pourraient s'élever au plus à 5 ou 600 francs, et à une somme bien inférieure si on employait des poêles déjà existants ; il n'y aurait de dépense à faire que celle de l'enveloppe, du canal d'appel de l'air extérieur et de la cheminée.

3076. Les dispositions que nous venons de décrire ont été établies d'abord à Paris dans trois grandes écoles, situées l'une rue Neuve-Coquenard, les autres à la Halle aux Draps. Dans toutes on a été satisfait des effets obtenus, sous le rapport du chauffage, de son uniformité et de l'économie du combustible, malgré la dépense de chaleur qu'exige la ventilation, parce que dans ces appareils la chaleur est mieux utilisée que dans les anciens. A l'école de la rue Neuve-Coquenard, la seule dans laquelle j'aie fait des expériences, il n'y avait pas un degré de différence entre les températures des extrémités de la salle, et la ventilation, qui n'est ordinairement que de 6 mètres cubes par élève, établissait déjà une différence marquée avec les écoles non ventilées.

Il est difficile, dans les écoles qui ne sont pas bien surveillées, d'obtenir des maîtres d'école que le foyer d'appel soit allumé. Pour les salles qui renferment un grand nombre d'enfants, il serait peut-être préférable d'installer un petit ventilateur qui serait mis en mouvement par les élèves pendant les récréations. Ce serait un jeu pour les enfants.

3077. Dans l'école de la rue Neuve-Coquenard, le nombre des élèves est ordinairement de 200, mais la salle pourrait en contenir 250. Les deux calorifères ont les dimensions indiquées précédemment, ils sont placés en avant de l'estrade. Les tuyaux à fumée ont $0^m,16$ de diamètre, et une longueur totale de 39 mètres ; ils se réunissent en un seul de $0^m,20$ de diamètre, placé au centre de la cheminée d'appel et qui s'élève à 2 mètres au-dessus de son sommet. La cheminée d'appel a $0^m,27$ sur $0^m,93$; les orifices d'appel sont tous au niveau

du sol, ils sont au nombre de sept, distribués dans la largeur de la salle, et leur section est égale à celle de la cheminée, il en est de même des orifices d'accès de l'air extérieur et des passages autour des poêles. Le chauffage avait lieu avec de la houille de Fresnes ; le renouvellement de l'air était de 1000 à 1200 mètres cubes par heure. Dans les jours les plus froids, la consommation de combustible n'a jamais dépassé 6 kilog., et elle était en moyenne de 4 kilog. La surface totale des murailles est à peu près de 220 mètres, leur épaisseur de $0^{m},50$, la surface des vitres de 25^{mq}.

3078. Pour les écoles et les salles d'asile, on ne peut pas calculer la dépense moyenne de combustible, par les formules (978 et suiv.) ; car ces formules supposent que le régime des murailles est constamment établi, et que la température intérieure est constante, et par conséquent que le chauffage est permanent, tandis que, dans les écoles et les salles d'asile, le chauffage est intermittent et ne dure guère que 6 à 7 heures par jour ; dans les intervalles, les murailles se refroidissent par l'extérieur et aussi par la ventilation intérieure qui se produit toujours, même après la fermeture du registre d'accès de l'air et par l'air qui pénètre par les fissures des portes et des fenêtres. Néanmoins la consommation totale de combustible pendant une journée est peu considérable, car en supposant 7 heures de chauffage, par jour, 26 jours de chauffage par mois, 7 mois de chauffage et en moyenne 4 kilog. de houille par heure, la consommation pendant l'hiver serait de $4.7.26.7 = 5096^{k}$, qui, à raison de 5 fr. les 100^{k} font 254 fr. ; la dépense réelle serait beaucoup plus petite, parce que le chauffage ne dure pas 7 mois dans ces conditions.

3079. Dans le système de chauffage et de ventilation que je viens de décrire, il y a un inconvénient qui pourrait être très-grave dans d'autres circonstances ; la ventilation est liée au chauffage, et varie par conséquent dans le même sens. Ainsi, si la ventilation était suffisante, dans les journées les plus froides de l'hiver, elle serait insuffisante au commencement et à la fin de cette saison ; j'ai pourtant préféré cette disposition à d'autres dans lesquelles on aurait pu séparer le chauffage de la ventilation, à cause de son extrême simplicité, d'autant plus que le foyer placé au bas de la cheminée permet de compléter la ventilation produite par le chauffage, quand elle est insuffisante, ce que la sensibilité de nos organes permet d'apprécier mieux que les meilleurs instruments et les analyses les plus parfaites. La combustion de 1 kilog. de houille par heure, dans ce foyer, serait suffisante pour la ventilation complète d'une salle d'école

renfermant 200 élèves, pourvu que la cheminée ait au moins 10 mètres de hauteur et $0^m,25$ de section.

3080. Une maison d'école renferme toujours, indépendamment de la salle d'étude, une salle désignée sous le nom de préau, où les élèves prennent leurs repas et leurs récréations ; cette salle, n'étant occupée chaque jour que pendant un temps très-court, peut être chauffée par un poêle en fonte qu'on n'allume que peu d'instants avant l'arrivée des élèves.

3081. Mais une des conditions les plus importantes pour l'assainissement d'une école, est une bonne disposition des lieux d'aisances, leur propreté et la ventilation permanente des fosses au moyen d'une cheminée d'appel. La disposition des cabinets qui paraît la plus convenable consiste à recouvrir le sol et les murs jusqu'à 30 ou 40 centimètres d'une plaque de plomb inclinée vers l'orifice central en avant duquel se trouvent deux patins en fonte à surfaces rayées, destinés à recevoir les pieds. En face des cabinets doivent se trouver des ouvertures garnies de jalousies. La cheminée d'appel doit s'ouvrir à la partie supérieure de la fosse, et s'élever à une hauteur qui excède celle des toits ; à sa partie inférieure elle doit renfermer un petit foyer encaissé latéralement, et dont le cendrier communique à l'extérieur par un tuyau garni d'un registre qui permet de régler à volonté l'activité de la combustion. La combustion de 0,5 de houille pouvant échauffer 641 mètres cubes d'air de 20°, en supposant que la hauteur de la cheminée soit de 12 mètres, la vitesse théorique serait à peu près de 4 mètres, et en donnant à la cheminée une section de $0^m,25$, on évacuerait par heure un volume d'air bien suffisant pour l'assainissement, car il n'est pas nécessaire de faire passer par la cheminée un grand volume d'air, mais seulement de produire un mouvement de l'air de dehors en dedans de la fosse. La tourbe et la tannée qui brûlent lentement et qui coûtent moins que les autres combustibles, devraient être employées de préférence. Le sommet de la cheminée devrait être pourvu d'un appareil destiné à soustraire le tirage à l'influence des vents. Des fosses qui se fermeraient hermétiquement elles-mêmes au moyen d'un petit courant d'eau, dispenseraient de ce système de ventilation ; il n'y aurait plus que l'infection locale qu'on éviterait par des soins de propreté.

Des appareils de chauffage et de ventilation, disposés comme nous venons de le dire, ont été établis à ma connaissance dans 25 à 30 écoles primaires. Je n'ai eu aucun renseignement sur les disposi-

tions qui consistaient à se servir des poêles existants en les environnant d'une enveloppe en tôle ou en briques, tout le reste était arrangé comme je l'ai indiqué ; ces dispositions pourraient facilement être exécutées partout, par les ouvriers de la localité ; ce qui permettrait d'obtenir quelque économie sur les dépenses de premier établissement.

Malgré la simplicité des appareils que je viens de décrire, la publicité donnée à la brochure dont j'ai parlé, il n'y a encore qu'un très-petit nombre d'écoles convenablement assainies ; il serait pourtant d'une grande importance que toutes le fussent, du moins celles qui renferment un grand nombre d'enfants. A mon avis, on y parviendrait rapidement en employant les moyens suivants :

1° Publication d'une nouvelle instruction sur l'assainissement des écoles primaires et des salles d'asile, plus détaillée que la première et qui renfermerait les dispositions les plus convenables des latrines et leur assainissement ;

2° Ordre, que dans toutes les écoles normales primaires, les salles d'études et l'école primaire annexée, soient immédiatement ventilées par les moyens indiqués dans l'instruction ;

3° Introduction dans l'enseignement des écoles normales primaires de toutes les notions relatives à l'hygiène et à la ventilation des écoles ;

4° Enfin, ordre aux recteurs, aux inspecteurs d'académie et aux inspecteurs primaires, d'employer toute leur influence pour faire adopter par les communes les moyens sanitaires recommandés.

3082. Comme on le voit d'après ce qui précède, la question de l'assainissement des écoles primaires et des asiles a été posée par Péclet de la façon la plus nette, et il a même réussi à obtenir sur certains points un commencement de solution. Depuis la publication de la troisième édition de ce livre, un grand nombre de travaux ont été faits en Angleterre, en Allemagne, en Suisse, en Amérique sur l'hygiène des établissements scolaires ; la question prise au général est très-complexe, et il n'entre pas dans notre cadre de la traiter complétement ; elle comprend, en effet, non-seulement les conditions de chauffage et de ventilation, mais celles de l'éclairage des salles, de l'exposition des bâtiments, du choix de l'emplacement, du mobilier, etc., etc.

3083. M. F. Buisson, agrégé de l'Université, délégué à l'Exposition de Vienne, résume dans son rapport sur l'instruction primaire les conditions générales d'installation des écoles dans les différents

pays de l'Europe et de l'Amérique d'après les documents officiels relatifs à chaque contrée. Un des premiers points visés est le nombre d'élèves qu'on peut mettre dans chaque salle, le maximum est en général de 60 à 80 ; il s'élève cependant à 100 pour le canton de Zurich ; puis viennent l'espace superficiel et l'espace cubique attribués à chaque élève, ainsi que la hauteur des salles ; on trouve pour l'aire accordé à chaque élève un minimum de $0^{mq},50$ et un maximum de un mètre carré, l'espace cubique varie de $2^{mc},1$ à 4 mètres cubes par élève, la hauteur de $2^{m},80$ à $4^{m},50$, la surface des fenêtres doit avoir un sixième à un quart de la surface du plancher.

3084. Quant au nombre des enfants qu'on peut loger dans chaque classe nous pensons qu'au double point de vue de l'hygiène et de l'enseignement, il y a un intérêt considérable à le réduire le plus possible et ce nombre de 60 à 100 élèves, accepté dans presque toutes les contrées, nous paraît encore beaucoup trop considérable ; il nous paraît tout aussi nécessaire d'éviter l'entassement des enfants, et un mètre carré de surface avec 4 mètres cubes d'espace cubique pour chaque enfant qui constituent les maxima actuellement adoptés, nous paraissent, au contraire, devoir être des minima. Quand on s'accorde à peu près partout à considérer que 14 mètres cubes sont le minimum d'espace cubique qui doit être accordé à un adulte, si l'on tient compte de l'activité de la respiration chez l'enfant, on sera facilement conduit à réclamer pour lui la moitié au moyen de l'espace qu'on accorde à l'homme fait, et on ne sera arrivé à répondre réellement aux besoins de l'hygiène que lorsqu'on aura accordé à chaque enfant 6 à 8 mètres d'espace cubique et que le nombre des enfants de chaque classe ne dépassera pas 30 ou 40.

3085. Il est une autre question qui paraît intéresser au plus haut point l'hygiène de l'enfance et qui doit préoccuper à juste titre ceux qui sont chargés de l'édification des écoles, c'est la question de l'éclairage. Le docteur Cohn de Breslau a fourni le résultat de ses investigations sur 10 060 écoliers ; il constate que la proportion de la myopie va s'élevant au fur et à mesure que les études se prolongent. C'est ainsi qu'il trouve 2 myopes sur 100 dans une école rurale, 15 p. 100 dans une école moyenne, 44 p. 100 dans une école réale et enfin 56 p. 100 dans la première classe d'un gymnase. Ces résultats fâcheux sont attribués par le docteur Cohn à l'insuffisance de l'éclairage.

Le docteur Liebreich, oculiste et professeur à l'hôpital Saint-Thomas de Londres, a étudié particulièrement les conditions de l'ar-

rivée de la lumière à l'élève; pour lui la lumière, afin de ne pas fatiguer les yeux de l'enfant, doit venir du côté gauche et d'en haut; M. Trélat, professeur au Conservatoire des arts et métiers et directeur de l'École spéciale d'architecture, arrive au même résultat par des considérations relatives au sens artistique. La question de l'éclairage *unilatéral* a donc d'ardents défenseurs; certains hygiénistes ne pensent pas qu'il y ait lieu de lui accorder l'importance que lui donnent ses promoteurs, mais tous s'accordent à penser que l'éclairage doit être avant tout abondant et que la lumière doit arriver directement à la place occupée par l'enfant et lui permettre de lire ou d'écrire sans qu'il en résulte aucune gêne pour la vue, ni aucune position pénible pour le corps. Réduite à ces conditions, la question de l'éclairage n'exige pas que celui-ci soit unilatéral, mais on ne peut nier qu'on satisfasse complétement à ses exigences en faisant arriver la lumière abondamment par la gauche de l'élève et autant que possible par le haut.

3086. En France, la circulaire ministérielle du 14 mars 1872, confirmant une instruction du 30 juillet 1858, indique les bases suivantes pour l'établissement d'une école, en ce qui concerne l'espace accordé aux élèves et l'éclairage : l'école sera établie dans un lieu central, d'accès facile et bien aéré; la salle sera construite sur cave, planchéiée, bien éclairée, accessible aux rayons du soleil; l'aire de la classe présentera une surface de 1 mètre carré par élève et une hauteur de 4 mètres; on tolérera $3^{m},50$ pour les écoles qui ne seront pas établies dans une construction neuve. Dans un programme pour la construction d'une école communale, dressé par la préfecture de la Seine, on trouve les conditions suivantes : les salles auront de $3^{m},60$ à 4 mètres de haut; elles seront rectangulaires, éclairées sur les deux faces longues du rectangle; autant que possible, elles prendront jour à l'est et à l'ouest, les baies des croisées seront aussi hautes que possible; il y aura par chaque élève $0^{mq},90$ d'aire de plancher et 3 mètres cubes d'espace cubique. Pour une salle d'asile à construire, le programme prévoyait $0^{m},70$ de surface de plancher et 3 mètres cubes d'espace cubique par enfant.

3087. Quant au chauffage et à la ventilation, les principes posés par Péclet n'ont pas cessé d'être suivis. Dans la plupart des cas, c'est toujours un poêle-calorifère qui sert au chauffage et à la ventilation, et les dispositions indiquées (*fig.* 708) sont toujours celles qui sont adoptées partout, en les modifiant toutefois dans le détail suivant les idées particulières des constructeurs, mais tout en conser-

vant l'ordonnance générale. On a cependant renoncé presque toujours au long tuyau de fumée qui traverse la salle et qui présente un aspect disgracieux sans être d'une utilité absolue.

Lors de l'édification des nouvelles écoles de la ville de Paris M. le préfet de la Seine a fait faire une nouvelle étude des conditions dans lesquelles le chauffage et la ventilation devaient être établis dans ces écoles.

3088. Une commission, composée de MM. de Fontanges, ingénieur des ponts-et-chaussées ; Davioud, architecte ; Ser, ingénieur civil ; Bourdais, ingénieur architecte, a été chargée d'étudier la question du chauffage et de la ventilation des écoles ; elle a résumé ses travaux dans un rapport dont nous croyons devoir donner l'analyse :

Au point de vue spécial des écoles primaires, il conviendra d'employer le chauffage à air chaud, c'est-à-dire par circulation d'air au contact de l'enveloppe du foyer et du tuyau de fumée, parce qu'il est plus économique et plus simple d'établissement que le chauffage à eau chaude ou à vapeur et qu'il se prête mieux aux conditions d'un chauffage intermittent.

Sans se prononcer absolument sur l'emploi d'un calorifère unique ou celui d'appareils indépendants pour chaque classe, la commission incline à penser que ce dernier système devra être employé pour éviter les pertes de chaleur qui ont lieu dans le parcours de la canalisation et pour rendre moindres les dépenses d'installation.

Quel que soit le mode adopté, il faudra satisfaire aux deux conditions suivantes : 1° régularité du chauffage, c'est-à-dire uniformité et constance de la température ; 2° régularité de la ventilation, c'est-à-dire passage d'air en quantité égale autour de chaque élève.

Pour satisfaire à la première condition, il faudra, lorsque l'appareil de chauffage sera placé dans la salle même, le munir d'une enveloppe peu conductrice pour éviter un rayonnement trop considérable sur les places voisines occupées par les élèves.

On devra abandonner le tuyau de fumée apparent qui dans beaucoup d'écoles traverse les classes ; mais on pourra utiliser au développement des surfaces de chauffe tout ou partie de l'espace vertical situé au-dessus de la surface que l'appareil occupe sur le sol.

L'appareil se composera donc d'un foyer et d'une surface de chauffe placée au-dessus, le tout enfermé dans une enveloppe peu conductrice ouverte à la partie haute pour laisser échapper l'air chaud qu'elle contient.

constatée à l'anémomètre était de $0^m,90$ par seconde. La température extérieure étant — 5°, on trouva 20° au plafond des salles c'est-à-dire à $4^m,50$ au-dessus du sol, et depuis le sol jusqu'à hauteur d'homme, 14° dans la grande salle et 15° dans l'autre. L'air vicié s'échappait par des orifices pratiqués au ras du sol avec une vitesse de $0^m,70$.

La consommation est en 10 heures de 25 kilog. de charbon en petites gaillettes et de 30 litres de coke.

Le rapport ne donne ni les dimensions du poêle, ni la section des orifices d'évacuation.

On voit que la quantité d'air introduite est de 542^{mc} dans les deux salles, et comme leur volume total est de 444^{mc}, l'air est renouvelé 1 fois 1/4 par heure dans les salles. On ne donne d'ailleurs ni la surface des salles ni le nombre des élèves qui s'y trouvent; on ne peut donc savoir quel est le volume d'air introduit par élève. Si cependant on tient compte de ce que les salles ont $4^m,50$ de hauteur et si on suppose 1 élève par mètre carré d'aire de plancher, on sera conduit à une population de 100 élèves qui n'auraient, dans ce cas, que $5^{mc},42$ d'air par heure et par tête, ce qui paraît insuffisant; néanmoins le rapport est favorable à l'emploi du thermo-conservateur.

Nous allons décrire quelques exemples particuliers de chauffage et de ventilation d'établissements scolaires, crèches, asiles et écoles primaires.

3091. *Crèche de Beauvais.* — La ville de Beauvais vient de faire construire, sous la direction de M. Lhuillier, architecte de la ville, une crèche pour cinquante enfants. Le bâtiment a 13 mètres de long sur 9 mètres de large; il ne comprend qu'un rez-de-chaussée surmonté d'un comble; la grande salle qui reçoit les enfants occupe toute la longueur du bâtiment sur une longueur de 10 mètres environ; le reste est occupé par des logements et des dépendances. Le chauffage et la ventilation ont été effectués par les soins de MM. Geneste et Herscher. Ils ont placé un calorifère ventilateur dans l'axe de la grande salle; ce calorifère est surmonté d'une gaîne de ventilation entourant le tuyau de fumée de l'appareil. L'air pur est pris à l'extérieur par un conduit entrant dans le calorifère, et l'air chaud débouche dans la salle à environ $1^m,50$ du sol; l'enveloppe de l'appareil est divisée intérieurement par une cloison verticale formant un compartiment à côté du calorifère; ce compartiment, dans lequel l'air est chauffé par la cloison qui le sépare de l'appareil

de chauffage, communique à la partie haute avec la gaîne de ventilation qui entoure le tuyau de fumée et à la partie basse avec six conduits allant aspirer l'air au pourtour de la salle et au-dessous des berceaux et des lits placés au long des murs. Le calorifère est du système dit thermo-conservateur (1850) ; il est muni d'un vase d'eau permettant de fournir à l'air un état hygrométrique convenable. Les sections d'arrivée et d'échappement sont calculées de façon à donner à l'air une vitesse très-faible.

Pendant les grands froids, alors que le calorifère fonctionne toute la journée, la ventilation est suffisamment active ; mais pendant les saisons intermédiaires, quand le calorifère fonctionne peu ou point, et que l'ouverture des fenêtres est impossible, la ventilation est rendue indépendante du chauffage; elle est produite au moyen de quelques becs de gaz placés dans la gaîne d'évacuation de l'air vicié.

La ventilation est réglée pour fournir au moins 15 mètres cubes d'air par enfant et par heure. Cette quantité est suffisante pour renouveler l'air de la salle trois fois par heure. Des expériences faites dans la crèche de Beauvais ont montré qu'aucune odeur ne se manifeste et que la température y est maintenue constante.

3092. *Asile ou école gardienne de Nivelles* (*Belgique*). — L'école ardienne, ou asile de Nivelles, a été construite sur les plans de M. Carlier père ; le chauffage et la ventilation ont été été établis par MM. Geneste et Herscher. L'asile n'a qu'un rez-de-chaussée, il est formé d'un seul bâtiment rectangulaire ayant 83 mètres de long sur 11 mètres de large. Au milieu se trouve une grande salle, munie de gradins, destinée à recevoir 400 enfants dont 200 filles et 200 garçons ; cette salle a 18 mètres de longueur, de chaque côté se trouve placé un réfectoire de 15 mètres de longueur, l'un pour les garçons, l'autre pour les filles et enfin aux extrémités se trouve de chaque côté une salle servant de lavabo et de vestiaire ; toutes les salles sont sur terre-plein, sauf la partie qui est placée au-dessous de l'amphithéâtre de la salle du milieu qui présente un sous-sol dans lequel sont placés les appareils de chauffage et de ventilation.

Dans les angles du fond de la grande salle sont ménagées deux grandes cheminées d'évacuation s'élevant de la cave au faîtage ; à la base de ces cheminées sont reliés des conduits horizontaux aspirant l'air près du sol par des orifices pratiqués dans les murs pour les salles à niveau, et dans les gradins de l'amphithéâtre pour la salle centrale. Dans chaque cheminée d'évacuation est placé un appareil de chauffage destiné à provoquer l'ascension de l'air vicié ; ces ap-

pareils, à combustion continue, se raccordent aux tuyaux de fumée des calorifères de chauffage qui s'élèvent dans l'axe des gaînes d'évacuation.

Les calorifères sont au nombre de deux, desservant la salle principale et ses dépendances au moyen de bouches de chaleur à grand débit; ces bouches de chaleur sont placées dans la grande salle, verticalement, un peu au-dessus du sol et à une distance des enfants suffisante pour ne pas les gêner. Le service est alternatif ou simultané pour toutes les salles, suivant les besoins. On a obtenu ainsi un renouvellement d'air minimum de 15 mètres cubes par enfant et par heure ; la température est restée constante et uniforme aux différents points de l'amphithéâtre ; des expériences ont été faites par les ordres du Conseil communal ; on a étudié le mouvement de l'air au moyen de petits ballons remplis d'hydrogène ; on a reconnu ainsi que l'air traverse la grande salle en un courant régulier s'établissant des bouches de chaleur aux bouches d'évacuation en s'épanouissant dans l'intervalle.

3093. *Groupe scolaire de la rue Ordener* (*Paris*). — Cette école établie par M. Deconchy, architecte, comprend un certain nombre de classes situées au rez-de-chaussée et au premier étage ; elles doivent être toutes indépendantes au point de vue du chauffage et de la ventilation. Pour répondre à cette condition chaque salle a été munie d'une cheminée de ventilation qui monte depuis le sol de la salle jusqu'au faîte du bâtiment ; deux gaînes horizontales ont été établies en saillie de $0^m,15$ sur le mur de chaque côté de la salle ; ces gaînes ont $0^m,80$ de hauteur au-dessus du sol ; elles se rendent dans la cheminée de ventilation de la salle par des conduits passant dans l'épaisseur du plancher ; la face antérieure de ces gaînes est en tôle perforée de sorte que l'air vicié est pris dans toute la longueur de la salle et sur les deux côtés. L'appel est produit dans la cheminée soit par le tuyau de fumée en hiver, soit par quelques becs de gaz dans les saisons mixtes et en été. L'appareil de chauffage, placé dans la salle, est le thermo-conservateur (1850), qui est muni d'une large prise d'air communiquant directement avec l'extérieur ; les travaux de chauffage et de ventilation ont été établis par MM. Geneste et Herscher.

3094. *Groupe scolaire, rue Curial.* — Ce groupe a été établi par les soins de M. Félix Narjoux, architecte, pour 1200 enfants ; il comprend des classes de 72 élèves ; le chauffage se fait au moyen de poêles-calorifères de MM. Gaillard et Haillot ; ces calorifères

sont en fonte entourée d'une enveloppe en tuiles recouvertes de faïence ; le foyer est garni de plus d'une enveloppe en tôle, la cloche est nervée, le calorifère est muni d'un tuyau formant pompe d'appel pour l'allumage ; le tuyau de fumée monte verticalement au-dessus des combles dans l'axe de la cheminée de ventilation pratiquée dans le mur ; le calorifère a deux portes de chargement placées à l'extérieur de la salle, l'une en haut, l'autre en bas de la cloche ; la surface de chauffe est de $3^{m},60$ en évaluant la surface des nervures pour moitié de leur surface réelle. La prise d'air froid se fait au bas des alléges des fenêtres ou au-dessus de leurs linteaux par une ouverture ayant $1^{m},50$ sur $0^{m},30$ soit $0^{mq},45$ de surface pour 72 élèves ; l'air est introduit dans le calorifère d'où il sort dans la salle ; l'air vicié est évacué par des orifices pratiqués dans le sol à raison de un par quatre élèves ; ces bouches se rendent dans un canal ménagé dans l'épaisseur du plancher et aboutissant à la cheminée d'appel. Pendant l'été, le tirage est obtenu dans celle-ci au moyen de becs de gaz. Dans cette installation, on s'est conformé, au point de vue des dimensions des sections d'appel et de sortie de l'air, aux indications fournies par la commission nommée par M. le préfet de la Seine (3088).

3095. *Groupe scolaire de la rue du Pont-de-Lodi.* — Ce groupe a été bâti sous la direction de M. Cordier, architecte ; dans celui-ci comme dans le précédent, on a suivi de très-près les indications de la même commission.

La ventilation est rendue complétement indépendante du chauffage ; les orifices d'évacuation de l'air vicié sont au bas des murs et dans les pieds des tables qui servent aux élèves ; ces orifices communiquent avec des canaux pratiqués dans l'épaisseur du plancher. et qui se rendent dans un canal collecteur dont la section va s'élargissant jusqu'au pied de la cheminée d'appel. Dans un espace rectangulaire disposé au pied de celle-ci et qui en est séparé par une cloison métallique, se trouve placé un poêle à nervures avec soupape faisant pompe d'appel pour l'allumage. Le tuyau de fumée se rend dans la cheminée d'appel qu'il traverse dans toute sa hauteur ; à la base de la cheminée se trouve un foyer à gaz et un foyer à houille destinés à produire la ventilation lorsque le poêle n'est pas allumé : le foyer à gaz servant pour la saison mixte, le foyer à houille pour la saison chaude. L'air pur pris à l'extérieur pénètre dans la chambre qui entoure le poêle et de là se rend dans la salle où il pénètre par des orifices placés à la partie supérieure.

Des expériences, décrites dans l'*Encyclopédie d'architecture*, 1871, ont été faites, pour établir l'efficacité de ce mode de chauffage et de ventilation. On a trouvé que la température a été de 16 à 17° à 1m,75 du sol dans les classes, la température extérieure étant de 3° et celle de la cheminée de 32°. Le registre étant complétement ouvert, le volume d'air évacué en été par heure et par élève a été de 30 mètres cubes; on peut réduire la ventilation en diminuant l'ouverture du registre. Le volume d'air évacué a varié sensiblement comme la racine carrée des différences de température entre l'extérieur et la cheminée; pour une différence de 8° seulement, l'évacuation est de 12 mètres cubes par heure et par élève. En faisant varier l'appel entre 30 mètres cubes et 23 mètres cubes, on a constaté que l'introduction de l'air chaud par les orifices d'appel restait sensiblement constante et égale à 10 mètres cubes seulement; le complément était formé par les rentrées d'air qui ont lieu par les fissures des portes et des fenêtres. Ces résultats mettent nettement en évidence les inconvénients de l'appel dans le cas où celui-ci est un peu énergique puisqu'on n'a pu rendre les rentrées d'air accidentelles négligeables qu'en faisant descendre l'appel à la valeur de l'introduction, c'est-à-dire à 10 mètres cubes seulement par heure et par élève.

3096. Le chauffage dans les groupes scolaires de la rue du Pont-de-Lodi, de la rue Laugier et de l'avenue Daumesnil se fait au moyen d'un poêle à circulation de fumée établi par M. d'Hamelincourt, ancien élève de l'École centrale, et auquel celui-ci donne le nom de poêle Péclet perfectionné. Ce poêle est représenté dans les figures 700 et 701. La première représente une coupe verticale; la seconde, une coupe horizontale de l'appareil; A est une cloche en fonte munie d'une porte de chargement et d'un cendrier; cette cloche est surmontée d'un tuyau G montant verticalement et se rendant à la cheminée. C est une boîte trapézoïde fermée à la partie supérieure, lorsque l'appareil est en plein feu, par une valve D qu'on ouvre pour l'allumage; cette valve est munie d'un contrepoids *d* et on la manœuvre au moyen de la poignée *d'*; la fumée redescend par deux tuyaux E garnis de nervures qui se rendent dans une autre boîte trapézoïde F, d'où part un tuyau B vertical aussi garni de nervures et qui vient se rendre en H dans le tuyau d'évacuation de la fumée; l'appareil est renfermé dans une chambre en maçonnerie dans laquelle arrive l'air à chauffer. Cet appareil présente de bonnes conditions d'utilisation de la chaleur. Il est fa-

cheux cependant que l'air à chauffer ait le contact direct de la cloche dont la paroi peut être portée à une température trop élevée, ce qui peut altérer la qualité de l'air chaud ; il serait bon aussi qu'une disposition eût été prise pour fournir en hiver à l'air chauffé la quan-

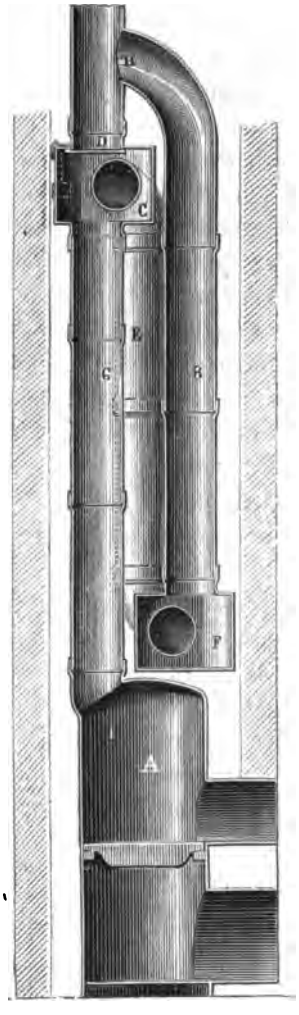


Fig. 700.

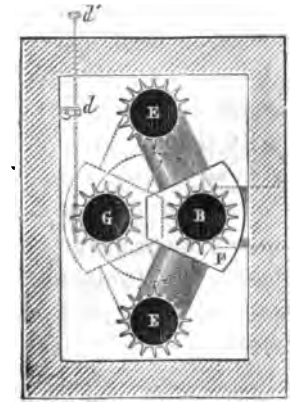


Fig. 701.

tité d'eau nécessaire à maintenir un degré hygrométrique convenable.

3097. *École d'Essonnes.* — La ville d'Essonnes a fait construire par M. Simonnet, architecte, professeur à l'École spéciale d'archi-

tecture, une école où on a appliqué le principe de l'éclairage unilatéral dont nous avons parlé plus haut (3085).

L'école ne comporte qu'un rez-de-chaussée ; elle comprend un vestibule et deux classes de chaque côté, constituant un bâtiment rectangulaire ayant 38 mètres de long environ sur 9 mètres de large ; derrière ce bâtiment règne un préau couvert de 4 à 5 mètres de large au milieu duquel se trouve établie la cheminée de ventilation. Le bâtiment est couvert d'un toit à une seule pente dont la partie la plus élevée est la partie antérieure. Les classes ont une hauteur de 6 mètres vers la façade antérieure et de 4 mètres seulement à la partie postérieure ; le plafond a une forme paraboloïde ; les classes sont éclairées chacune par deux grandes fenêtres pratiquées dans la façade antérieure. Un calorifère unique, placé au-dessous du vestibule, vers le centre, alimente deux canalisations d'air chaud desservant chacune deux classes ; dans un angle de chaque salle près de la façade extérieure se trouve une bouche d'air chaud qui s'ouvre un peu au-dessus du sol. Au côté opposé de la diagonale de la salle menée par cette bouche, se trouve l'orifice de sortie de l'air vicié qui, par deux caniveaux longitudinaux placés en sous-sol, est amené dans une gaîne transversale qui va à la cheminée générale d'évacuation. La prise d'air neuf pour le calorifère se fait au niveau du sol de chaque côté des marches qui précèdent l'entrée du vestibule ; c'est là une disposition qu'il nous paraît difficile d'approuver, si l'on se préoccupe de la qualité de l'air introduit. Le tuyau de fumée du calorifère traverse le caniveau transversal qui mène l'air vicié à la cheminée et s'élève ensuite dans l'axe de cette cheminée elle-même, qui a 13 mètres de hauteur et 1 mètre environ de diamètre ; à sa base se trouve disposé un appareil thermo-conservateur dont la fumée se rend dans le tuyau de fumée du calorifère et qui sert à produire l'appel quand le calorifère n'est pas en marche ou qu'on le chauffe peu. On maintient facilement une température de 16° dans toutes les salles, en même temps qu'un renouvellement d'air de 15 mètres cubes par élève et par heure.

3098. On s'est arrangé de façon à pouvoir opérer un renouvellement d'air très-rapide pendant l'absence des élèves sans amener un refroidissement trop brusque en hiver ; pour cela, des orifices à grande section sont ménagés dans la partie haute du mur opposé aux fenêtres et dans la partie la plus élevée du plafond ; ces orifices sont munis de portes qu'on ouvre pendant l'absence des élèves, tout en laissant fonctionner le service de chauffage et de ventilation ; on

renouvelle ainsi l'air abondamment et rapidement sur tous les points. Au moment de la rentrée des élèves, on ferme les orifices supplémentaires et le régime se rétablit presque immédiatement.

Maisons d'éducation.

3099. Dans toutes les grandes maisons d'éducation, les lycées, les colléges, les pièces qui sont occupées longtemps par les élèves en repos, doivent être chauffées pendant l'hiver, et celles où le séjour est prolongé, comme les salles d'étude, les amphithéâtres et dortoirs, doivent en même temps être ventilées, parce que le volume d'air de ces pièces est insuffisant pour la salubrité; aussi, quand on entre le matin dans les dortoirs, on y trouve un air tellement vicié, qu'il est impossible de supposer que la santé des enfants n'en soit pas altérée. Un système général de chauffage et de ventilation, soit par l'eau chaude, soit par la vapeur, serait préférable à des chauffages partiels; mais il y aurait beaucoup de perte de chaleur si le chauffage avait lieu par l'eau chaude et s'il était permanent, parce que les pièces ne doivent pas être occupées d'une manière continue. Un système général de chauffage ne pourrait être économique que par la vapeur, parce qu'il pourrait être établi presque instantanément dans chaque pièce.

3100. Pour les salles d'étude, la méthode de chauffage et de ventilation la plus simple consiste à employer un poêle en métal ou en terre cuite, sans circulation intérieure, d'une forme quelconque, et recouvert d'une enveloppe ouverte par le haut, l'intervalle du poêle et de l'enveloppe communiquant avec l'air extérieur, comme pour le chauffage des salles d'école (3070). Le tuyau du poêle traverserait la cheminée d'évacuation: enfin, la partie inférieure de la cheminée serait percée d'un ou de plusieurs orifices garnis de registres pour régler la ventilation. Un petit foyer additionnel établi au bas de la cheminée servirait à augmenter la ventilation quand celle qui est produite par le chauffage est insuffisante.

Pour les classes, qui sont toujours pourvues de gradins, il faudrait employer la disposition que nous avons indiquée (2721), en parlant du chauffage et de l'assainissement des grands amphithéâtres.

3101. Partout, les dortoirs sont insalubres, et par de trop petites dimensions et par un trop grand nombre de lits. Le séjour des enfants dans les dortoirs est au moins de 7 heures; par conséquent,

quand il n'y a pas de ventilation, en comptant sur 6 mètres cubes d'air par individu et par heure, il devrait y avoir au moins 42 mètres cubes de capacité par lit ; si on suppose que le dortoir a 3 mètres de hauteur, un lit doit correspondre à 14 mètres carrés de surface, et il est rare que dans cet espace il n'y en ait pas 3 ou 4 ; souvent même, les dortoirs sont beaucoup plus bas que nous ne l'avons supposé, et les lits sont presque en contact. Mais, quelles que soient les dimensions des dortoirs et la distance des lits, on peut toujours les rendre parfaitement salubres par une ventilation convenable. Le chauffage et la ventilation pourraient se faire de la même manière que dans les écoles et dans les salles d'étude (3070) ; le veilleur surveillerait facilement le petit nombre de foyers des dortoirs : on pourrait même employer du gaz dans les villes où il est bon marché. Ce serait encore plus simple que des foyers à alimentation continue. Pour la ventilation d'été, l'air pénétrerait par les mêmes orifices, et le petit foyer additionnel produirait la ventilation ; des orifices convenablement placés, près du plancher et près du plafond produiraient souvent, par suite de l'échauffement de l'air intérieur par la respiration, un renouvellement d'air suffisant.

3102. Je viens de dire que l'on pourrait employer le gaz d'éclairage, dans les villes où il coûte peu, comme foyer d'appel. On comprend qu'en remplaçant un petit foyer à la houille, par un ou plusieurs becs de gaz, il serait très-facile d'utiliser la lumière de ces becs pour l'éclairage en même temps que leur chaleur pour échauffer l'air aspiré, car il suffit pour cela de composer de vitrages une portion des parois de la cheminée d'évacuation, à la hauteur où cette cheminée renferme le foyer à becs de gaz : dès lors, dans les quelques cas qui peuvent se présenter surtout pour les maisons d'éducation, où l'on a besoin de lumière à proximité d'une cheminée d'appel, la ventilation devient très-simple et aussi très-peu coûteuse.

Il y a bien longtemps qu'à l'École centrale j'ai fait installer des lampes pour ôter la mauvaise odeur de deux cabinets d'aisances ; et dans la deuxième édition de cet ouvrage j'avais indiqué l'usage d'une lampe à double courant d'air, placée dans une cheminée d'appel, mais en limitant cet usage aux petites ventilations : il est évident que la combustion de l'huile comme celle du gaz, ne produit de l'effet pour l'ascension de l'air qu'à raison de la chaleur développée ; et que du moment où cette chaleur doit être tant soit peu considérable, il faut se garder d'employer un combustible aussi cher que l'huile ou le gaz, à moins toutefois, qu'exceptionnellement la position de la

cheminée d'appel ne permette d'utiliser la lumière produite par les lampes ou les becs de gaz.

3103. Les fourneaux de cuisine sont rarement bien disposés. Maintenant, on emploie généralement des fourneaux en fonte, qui servent en même temps à la cuisson des aliments et au chauffage de l'eau nécessaire à différents services. Ces fourneaux, comme je l'ai dit (2124), sont réellement économiques, mais ils échauffent beaucoup trop les cuisines, surtout si les parois ne sont pas recouvertes intérieurement de briques, et rarement la ventilation est convenable, de sorte que les cuisines sont très-insalubres, surtout pendant l'été. Il serait avantageux de recouvrir les fourneaux d'une hotte conduisant l'air au dehors ou mieux dans une cheminée d'appel à chaleur perdue des foyers.

Les cabinets d'aisances laissent aussi beaucoup à désirer; mais sur ce point je n'ai rien à ajouter à ce que j'ai dit en parlant des écoles primaires.

3104. On se préoccupe beaucoup, et avec raison, des conditions hygiéniques des écoles primaires ; il serait plus important encore de se préoccuper de celles des lycées et colléges où l'élève vit complétement et n'a que de rares sorties. Jusqu'ici ces préoccupations ne paraissent pas avoir été absolument celles de l'Administration, et presque tout reste à faire à ce sujet. En ce qui regarde les externes des lycées surtout, les conditions sont déplorables et l'on pourrait citer tel lycée d'externes de Paris, auquel la plus pauvre école de village pourrait faire envie. Rien d'installé pour la ventilation; des classes nombreuses dans lesquelles un poêle sans enveloppe, chauffé au bois, distribue parcimonieusement la chaleur qui ne devient souvent suffisante, en hiver, que par un calfeutrage absolu des ouvertures et par la présence même des élèves; pas de vestiaire, les élèves arrivant du dehors par tous les temps, ayant reçu en hiver la neige ou la pluie, n'ont d'autre ressource que de s'asseoir sur leur vêtement de dessus souvent saturé d'eau. Qu'on imagine ce que peut produire d'accidents de toute espèce cette situation de quarante ou cinquante jeunes gens, enfermés pendant deux heures dans une salle de dimension restreinte, où se répand l'odeur des vêtements mouillés, où les haleines se mêlent ; il y a là, encore une fois, une situation à laquelle l'Administration de l'instruction publique a le devoir le plus absolu de remédier; il serait, en effet, urgent qu'elle voulût bien profiter des travaux faits à cet égard

dans les écoles primaires en les appliquant aux établissements d'instruction secondaire.

3105. *Collége Rollin à Paris.* — La ville de Paris, en reconstruisant à nouveau le collége Rollin, y a fait établir un systèmed'ensemble pour le chauffage et la ventilation. L'étude et l'exécution des dispositions employées à cet effet ont été faites par MM. Geneste et Herscher.

Le collége Rollin, construit avenue Trudaine, à Paris, se compose de quatre corps de bâtiments parallèles reliant les deux bâtiments placés en façade et laissant entre eux trois grandes cours; les deux cours extrêmes sont divisées en deux parties très-inégales par un bâtiment parallèle aux façades ; l'ensemble de ces bâtiments forme en plan un carré un peu allongé et fournit en longueur un développement de 800 mètres environ. Il ne faut pas oublier que le chauffage d'un lycée présente de grandes irrégularités ; il faut, en effet, chauffer alternativement les classes et les études pendant le jour et chauffer pendant la soirée les dortoirs et les cellules. En raison de cette irrégularité même, l'emploi de la vapeur est nettement indiqué lorsqu'il s'agit d'un chauffage d'ensemble.

3106. Le chauffage se fait au moyen de deux couples de générateurs installés dans des caves isolées des bâtiments et produisant la vapeur nécessaire. Chaque générateur se compose de deux corps vaporisateurs de $0^m,60$ de diamètre qui reçoivent directement l'action du foyer et de trois bouilleurs réchauffeurs de $0^m,50$ de diamètre, disposés pour une circulation méthodique de l'eau et de la fumée. Toutes les communications entre les bouilleurs et les vaporisateurs sont établies hors feu. Dans le foyer une voûte en briques réfractaires garantit, au coup de feu, les vaporisateurs contre le rayonnement direct au foyer.

Les générateurs sont réglés à une très-faible pression, qui ne dépasse pas $0^k,5$ (pression effective). L'alimentation se fait au moyen de bouteilles ou récipients dans lesquels on introduit l'eau de condensation recueillie à la sortie des purgeurs des appareils de chauffage.

3107. La répartition de la vapeur est effectuée par deux colonnes distributrices partant des générateurs et s'élevant directement dans les combles où elles se développent en pente régulière sur toute la longueur des bâtiments. Ces colonnes sont soigneusement enveloppées pour combattre, autant que possible, les causes de condensation. Les colonnes de distribution peuvent communiquer entre elles par

une conduite intermédiaire permettant de combiner l'action des générateurs selon les exigences du service, et même, au besoin, de desservir tout l'ensemble des locaux avec un seul couple de générateurs, suivant les variations de la température extérieure.

3108. Les conduites de distribution alimentent, sur leur parcours, une série de tubes verticaux descendant des divers étages et desservant les poêles de chauffage. La vapeur et l'eau de condensation circulent normalement de haut en bas ; un collecteur à échappement libre reçoit les tuyaux de retour descendants et ramène l'eau de condensation dans les récipients destinés à l'alimentation.

3109. Les tubes verticaux, alimentant les poêles de chauffage, sont munis chacun d'un *détendeur de pression* (1977) qui règle la pression dans les tubes et dans les appareils à quelques centimètres de mercure au-dessus de la pression atmosphérique ; on est ainsi mis à l'abri des chances de fuite et d'explosion. De plus, la répartition de la vapeur se fait sur tous les points avec une pression égale, quels que soient les distances et le nombre des locaux desservis.

3110. Entre chacun des poêles et le collecteur des eaux de condensation se trouve placé un *purgeur automatique* (1969) de petite dimension qui extrait l'eau condensée dans l'appareil sans laisser passer la vapeur ; par cette disposition, on utilise complétement la vapeur au chauffage et on évite toute contre-pression dans les tuyaux de retour.

3111. L'air qui se trouve dans la circulation avant le chauffage se purge à l'aide d'un appareil spécial pendant l'échauffement des poêles (1980).

3112. Les poêles à vapeur se composent de corps cylindriques de petit diamètre, réunis en nombre plus ou moins grand suivant l'importance des locaux à chauffer ; ils sont installés dans des enveloppes munies de grilles à grand débit afin de faciliter l'émission de l'air chauffé tout en utilisant le rayonnement direct. Ces enveloppes empêchent, en outre, les élèves de venir se brûler au contact des parois directement chauffées par la vapeur.

3113. Pour les classes et les études, le chauffage se fait par émission d'air chaud et par le rayonnement à travers l'enveloppe, les surfaces de chauffe étant placées dans la salle même. L'air pur et froid, pris au dehors, est amené par un conduit spécial, débouche sous le poêle, s'élève en s'échauffant et se distribue dans la salle. L'air pur est fourni dans chaque salle à raison de 15 mètres cubes par

heure et par élève ; on pourrait d'ailleurs, en cas de besoin, augmenter cette proportion.

3114. L'air vicié est évacué par des orifices ménagés soit sous les amphithéâtres pour les classes, soit au bas des murs pour les études. Ces orifices communiquent par un conduit de section convenable avec les gaînes d'évacuation réservées dans la construction.

3115. Pour les dortoirs et les cellules, le chauffage est, au contraire, en général, indirect. Les poêles sont installés dans les couloirs en dehors des cellules. L'air pur, amené aux poêles par des conduits installés dans l'épaisseur des planchers, s'échauffe et se répand dans les couloirs; la chaleur se distribue dans les cellules par des ouvertures ménagées à cet effet à la partie supérieure. Cet air chauffé descend par suite de l'aspiration produite dans chaque cellule, au travers de grilles placées près du sol et communiquant par le plancher avec les cheminées générales d'appel. Les poêles des dortoirs, placés aussi dans les couloirs, sont munis spécialement de vases d'eau à l'intérieur, afin d'emmagasiner une certaine quantité de chaleur, ce qui permet de suspendre chaque nuit le chauffage des chaudières à vapeur sans arrêter pour cela le chauffage et la ventilation des dortoirs (1981).

3116. L'évacuation de l'air vicié est produite ou simplement aidée, suivant les saisons, par l'emploi de brûleurs à gaz établis dans les cheminées d'évacuation qui débouchent au-dessus des bâtiments. Des registres permettent d'affecter ces cheminées alternativement au service diurne ou nocturne, c'est-à-dire à la ventilation des classes ou des dortoirs.

On a pu, à l'aide de cet ensemble de dispositions, satisfaire complétement aux conditions multiples que présentaient le chauffage et la ventilation du collége Rollin.

CHAPITRE VIII

Assainissement des casernes.

3117. En 1848, M. Desjobert a publié sur l'état sanitaire de l'armée, une brochure dans laquelle il établit, d'après des données statistiques, que dans la population civile, la mortalité des hommes de 20 à 27 ans est de 11 sur 100, tandis que d'après le général Paixhans, dans l'armée, en temps de paix, elle s'élève à 19 sur 100,

les soldats ayant un âge également compris entre 20 et 27 ans, et cependant elle devrait être moindre, parce que l'on n'admet dans l'armée que les hommes propres au service et qui ont une constitution supérieure à la moyenne. M. Desjobert attribue cette plus grande mortalité à trois causes principales : une alimentation insuffisante, des gardes de nuit trop fréquentes, et le défaut d'aération des casernes. Je ne parlerai que de ce dernier objet.

En 1849, une commission présidée par le général Schramm, fut nommée par le ministre de la guerre pour examiner l'état sanitaire des casernes ; j'extrairai du rapport de M. Leblanc quelques faits importants à signaler. Trois expériences ont été faites dans trois chambres appartenant à des casernes différentes de Paris ; les volumes d'air des chambres par homme étaient de $13^m,6$, $11^m,54$ et $8^m,54$; après un séjour de 10 heures, les quantités d'acide carbonique trouvées dans l'air ont été de 0,0032 ; 0,0034 ; 0,01430. Dans les deux premières, les volumes d'air introduits accidentellement par les jointures et par les ouvertures des portes pendant les entrées et les sorties nocturnes des soldats ont été à peu près doubles du volume d'air de la chambre, et dans la dernière à peu près moitié. Alors, dans les deux premières chambres, chaque individu a eu à peu près 4 mètres d'air par heure, et dans la dernière à peu près $1^m,60$. A la fin des deux premières expériences, l'état hygrométrique était égal à 0,73 de celui correspondant à la saturation complète ; dans la dernière, il était égal à 0,83. Le matin, l'odeur était plus prononcée dans la troisième chambre que dans les autres ; néanmoins on y a séjourné sans trop de dégoût ni de répugnance.

3118. Des ventouses communiquant avec des cheminées ont été établies dans une des casernes de Paris, et ont donné d'assez bons résultats ; dans une des chambres à ventouses, le volume d'air introduit par suite de l'appel, a été de $2^m,4$ d'air par homme et par heure, et dans une autre, ce volume s'est élevé à 7 mètres.

Des ventouses communiquant à des cheminées de 8 mètres de hauteur ont été placées dans les écuries de la caserne du quai d'Orsay ; une de ces cheminées a appelé 334 mètres cubes d'air par heure, pour un excès de température de 4°5 ; l'effet total des 17 cheminées a pu fournir le jour de l'expérience environ 5000 mètres cubes d'air, et comme l'écurie renfermait 87 chevaux, la ventilation était de 57 mètres cubes par cheval et par heure. Ces nouvelles dispositions ont diminué la mortalité des chevaux dans une très-grande proportion.

Le rapport se termine ainsi :

3119. « En résumé, les expériences auxquelles la sous-commission s'est livrée, ont démontré que, dans l'état actuel du casernement de Paris, l'altération de l'air dans les chambres n'atteint pas, à la fin de la nuit, et dans les circonstances les plus favorables, un degré qui puisse être considéré comme alarmant pour la salubrité. Le maximum de la production de l'acide carbonique trouvé a atteint à peine 0,01 en volume, et l'état hygrométrique s'est toujours trouvé inférieur au terme de la saturation pour la température observée. Ces mêmes analyses ont démontré que, dans les chambres des casernes, le renouvellement accidentel de l'air par les jointures et par l'ouverture des portes pendant les entrées et les sorties nocturnes des soldats, dépasse l'effet qui s'observe dans la plupart des chambres habitées et closes, et dans les dortoirs des hôpitaux. Les expériences anémométriques ont constaté l'efficacité des moyens auxiliaires de ventilation adoptés par MM. les officiers du génie chargés du casernement de Paris. L'établissement des ventouses en relation avec des cheminées régnant sur toute la hauteur des bâtiments. permet de réaliser des effets ventilatoires assez énergiques en vertu de faibles excès de température entre l'air de la cheminée et l'air extérieur. »

3120. Ces conclusions ne me paraissent pas admissibles. Voici un fait que j'ai observé dans l'école primaire, qui a été vérifié par M. Leblanc : La salle étant close, sans ventilation, après cinq heures de séjour des enfants, l'air ne renfermait que 0,0087 d'acide carbonique, l'atmosphère était lourde, le maître se plaignait de la chaleur et attendait avec impatience le moment d'ouvrir les fenêtres, la température n'étant pourtant que de 18°. Ainsi, de l'air qui ne renferme que 0,0087, agit sur nos organes, et ce chiffre a été atteint dans la dernière expérience; et, s'il n'y avait pas eu de ventilation accidentelle, il aurait atteint 0,01 dans les deux premières salles, et 0,0143 dans la dernière; or, ces ventilations accidentelles peuvent varier dans des limites qu'on ne connaît pas, si les portes et les fenêtres fermaient bien, et si aucun homme ne sortait pendant la nuit elle deviendrait nulle ; alors, après un certain nombre d'heures, l'air serait altéré de manière à nuire à la santé, surtout par la continuité de son action. D'ailleurs, indépendamment de l'abaissement de la proportion d'oxygène dans l'air, il y a l'influence des matières organiques en suspension, probablement en fermentation, qui est peut-être plus grande que la présence de l'acide carbonique. D'après tout cela, il me paraît impossible de ne pas admettre que les ca-

sernes sont insalubres, et qu'elles ne peuvent devenir saines que par une ventilation convenable.

3121. La disposition qui serait certainement la meilleure consisterait à établir, au moins pendant la nuit, un chauffage et une ventilation régulières, comme dans certains hôpitaux et dans certaines prisons cellulaires ; mais les dépenses de premier établissement, l'entretien des appareils, seraient trop considérables pour qu'il soit permis d'espérer que de pareilles améliorations puissent jamais se réaliser. La seule chose à faire consisterait à établir pour l'hiver un poêle dans chaque salle, une cheminée garnie d'un orifice à la partie supérieure et à la partie inférieure, et enfin un canal communiquant avec l'extérieur et débouchant au-dessous du poêle. Pendant les jours d'hiver l'air extérieur arriverait au-dessous du poêle et s'écoulerait dans la cheminée par l'orifice inférieur. Pendant la nuit l'orifice d'accès de l'air extérieur au niveau du plancher resterait ouvert, et on ouvrirait l'orifice supérieur de la cheminée ; il se produirait alors une ventilation naturelle sans chauffage, du moins par la chaleur accumulée pendant le jour dans les murailles et par celle qui provient de la respiration et qui à elle seule peut produire une ventilation assez considérable, car, d'après ce que nous avons vu (2364), la chaleur provenant de la respiration peut élever 9 mètres cubes d'air de 15°, cela pourrait à la rigueur suffire pour la salubrité, attendu que, l'air se mouvant de bas en haut pour gagner l'orifice de sortie, chaque individu ne respire que de l'air pur. Il serait avantageux que l'air appelé s'étendît immédiatement sous le plancher, et par conséquent que les orifices d'appel fussent verticaux ou recouverts d'un chapeau s'ils étaient percés dans le plancher.

3122. Par cette disposition il y a un refroidissement continu de l'air intérieur ; mais cet inconvénient est incomparablement moins grand que le maintien ou l'accroissement de température par l'absence de ventilation, d'autant plus que les hommes couchés, enveloppés de leurs couvertures qui transmettent mal la chaleur, s'apercevraient peu de cet abaissement de température.

3123. Mais il vaudrait mieux, dans tous les cas, produire ce mouvement ascensionnel au moyen de la chaleur ; on pourrait alors employer des becs de gaz, dont la lumière pourrait être en tout ou en partie employée à l'éclairage. Ce tirage artificiel permettrait de fournir une quantité d'air suffisante, soit 25 à 30^{mc} par homme et par heure.

3124. On ne peut se dissimuler cependant que le problème réduit

à ces termes, c'est-à-dire à la ventilation seulement, ne présente de graves inconvénients quand la température extérieure s'abaisse beaucoup. C'est ce qui arrive dans nos contrées pendant certaines périodes de l'hiver; c'est ce qui arrive surtout dans les contrées du Nord; aussi en Russie les casernes sont-elles chauffées en même temps que ventilées, et il y a lieu de désirer qu'il en soit de même chez nous en hiver.

3125. *Caserne des marins de la Garde impériale de Saint-Pétersbourg.* — Les dispositions de cette caserne, en voie de construction, ont été présentées à l'exposition d'hygiène et de sauvetage à Bruxelles, en 1876. Cette caserne est construite pour 960 matelots, elle est à quatre étages, les dortoirs comprennent de 18 à 22 lits. Le chauffage se fait à l'air chaud au moyen de quatorze calorifères en briques et de quatre calorifères en fonte à nervures, calculés de façon à fournir 25 à 35 mètres cubes d'air neuf par homme et par heure dans les dortoirs; dans les corridors, les réfectoires et autres dépendances, l'air neuf est envoyé de façon à obtenir le renouvellement complet en une heure. On maintient à l'intérieur une température qui est constamment de 16 à 17°; pour obtenir ce résultat, on fait varier la température de l'air neuf qui ne s'élève pas à plus de 50°, lorsque l'air extérieur est à — 40.

L'extraction de l'air vicié se fait au moyen de douze cheminées d'appel chauffées au moyen d'appareils en fonte.

Au quatrième étage qui est soumis à un refroidissement plus énergique que les trois autres, on installe un chauffage supplémentaire au moyen de poêles.

L'air chaud reçoit une quantité suffisante de vapeur d'eau au moyen de vases d'évaporation placés près des calorifères.

3126. *Casernements du système Tollet.* — En Angleterre, dès le commencement de ce siècle, on avait, renonçant au système des bâtiments considérables à nombreux étages, construit des casernes à bâtiments multiples qui ont été une amélioration considérable au point de vue hygiénique. La comparaison de ce qui se passe à ce point de vue dans les campements permanents à pavillons isolés n'ayant qu'un rez-de-chaussée et les casernes des villes a mené M. Tollet, ingénieur, à rechercher un système de construction donnant des logements *incombustibles*, plus commodes, plus salubres et plus économiques que les casernes actuelles. M. Tollet s'est arrêté au système de bâtiments isolés rectangulaires surmontés d'un toit ogival sans charpente intérieure.

3127. Un casernement a été établi à Bourges, d'après ce système, pour 500 artilleurs. Chaque pavillon a 40 mètres de long sur 6^{m},30 de large, le plancher de ces pavillons est à 0^{m},70 du sol ; le bâtiment est séparé en deux chambrées par un vestibule placé au milieu et qui sert aux soins de propreté ; la section transversale est ogivale à tiers point, l'ogive commence à une faible hauteur au-dessus du plancher de la caserne, la hauteur du faîte est de 5^{m},70 au-dessus du plancher ; l'ossature de cette ogive est en fer, elle est formée de fermes ogivales reliées par des traverses aussi en fer, le remplissage se fait en briques pleines recouvertes intérieurement de briques creuses jusqu'à une hauteur de 2 mètres, elles sont hourdées en ciment ; la partie supérieure, jusqu'au sommet de l'ogive, est en briques creuses revêtues intérieurement de plâtre et extérieurement de ciment ou de tuiles mécaniques, l'épaisseur de la paroi varie de 15 à 22 centimètres. Le type de ces bâtiments a été représenté figure 699.

3128. Le chauffage se fait au moyen de poêles en fonte dont les tuyaux de fumée se rendent au-dessus du toit.

3129. La ventilation est naturelle ; elle est obtenue au moyen de briques creuses posées transversalement dans l'épaisseur du mur à une hauteur de 2 mètres au-dessus du sol, et par des chatières ou des mitrons d'appel posés au sommet du toit.

3130. Les chambrées sont éclairées par six fenêtres de 1^{m},50 de haut sur 1^{m},60 de large, et de plus elles sont munies de châssis à tabatière qu'on peut ouvrir à volonté et qui peuvent servir par conséquent à l'aération.

3131. Ces constructions, très-simples, très-peu coûteuses, ont été, de la part du baron Larrey, l'objet d'un rapport favorable à l'Académie des sciences (*Comptes rendus*, 13 avril 1874). La seule objection faite par ce savant est le grand espace occupé ; c'est là une objection qui sera facile à lever dans la plupart des cas par un choix convenable du terrain. Il nous semble qu'au point de vue qui nous occupe, il en est une autre très-sérieuse, cette disposition d'accès d'air neuf et froid au-dessus de la tête des hommes couchés peut avoir, en hiver, des inconvénients graves, lorsque la température sera très-basse ; l'air introduit, souvent avec une faible vitesse, coulera en nappe glaciale sur la tête ou les bras des hommes, et il peut y avoir là un danger réel. Il semble qu'on pourrait, sans grande dépense, employer des poêles à enveloppes qui introduiraient dans la salle de l'air chauffé au préalable ; il faudrait alors supprimer les

briques creuses ventilatrices de la paroi, ou du moins en boucher les orifices, ce qui serait facile.

CHAPITRE IX

Chauffage et assainissement des ateliers.

3132. Les grands ateliers dans lesquels les hommes ne sont pas constamment en mouvement et dont les travaux n'exigent pas de grands efforts, tels que les filatures, les fabriques de toiles peintes et de tissus, ont besoin d'être chauffés en hiver, parce qu'une certaine température supérieure à 10° est indispensable au travail. Partout les ateliers sont chauffés, mais avec une trop grande parcimonie, car la température y est seulement assez élevée pour que les ouvriers puissent travailler, mais rarement au point convenable à leur bien-être. En outre, les ateliers ordinaires ne sont jamais ventilés ; à la vérité, il y a des ateliers dans lesquels les ouvriers sont tellement espacés, que le volume d'air qu'ils renferment, joint à une faible ventilation naturelle par les portes et les fenêtres, suffit pour la durée du travail ; mais, dans le plus grand nombre, une ventilation permanente, ou du moins un renouvellement périodique de l'air, serait indispensable.

3133. Le mode de chauffage le plus en usage dans les grands ateliers est le chauffage à vapeur, et c'est celui qui convient le mieux pour chauffer avec un seul foyer des ateliers renfermés dans des bâtiments différents même assez éloignés, et seulement pendant les heures de travail. J'ai donné dans cet ouvrage tous les détails de construction des appareils, ainsi que la manière de déterminer l'étendue des surfaces de chauffe, mais seulement quand le régime est établi, et comme, dans tous les ateliers, le chauffage est interrompu pendant la nuit, il faut des surfaces de chauffe plus considérables, pour rétablir promptement le régime perdu : on doit compter en général sur une surface de chauffe dans le rapport de 3 à 2.

Le chauffage à la vapeur est d'autant plus avantageux que, dans nombre de cas, on peut l'effectuer avec la vapeur sortant des machines sans condensation et qu'alors il est presque gratuit.

3134. Lorsque les ateliers sont voisins de la cheminée d'une machine à vapeur, on peut utiliser une partie de la chaleur perdue pour chauffer l'atelier, parce qu'un refroidissement même considérable

de la fumée nuit peu au tirage ; d'ailleurs, la perte du tirage peut être compensée par une plus grande ouverture du registre, les cheminées ayant presque toujours un excès de section. En supposant que la fumée soit abandonnée à 300°, et qu'elle soit refroidie à 150°, on pourrait utiliser ainsi un huitième de la chaleur produite dans le foyer.

3135. La disposition la plus simple est celle qui a été décrite n° 1922. On peut aussi employer celle qui est indiquée au n° 1923.

3136. Pour utiliser la chaleur de la fumée des cheminées, on a proposé de faire circuler la fumée dans des tuyaux en fonte ; l'air extérieur s'échauffe autour d'eux, et s'élève ensuite dans un canal vertical au centre duquel se trouve la cheminée. Cette disposition a le grand inconvénient de diminuer le tirage par les circuits de la fumée ; d'ailleurs, les orifices d'accès et de sortie de l'air étant beaucoup trop petits, l'air serait trop fortement échauffé.

3137. On a employé aussi la disposition suivante. La cheminée est en tôle ; elle est placée en dedans des ateliers et environnée d'une double enveloppe et de cloisons annulaires à la hauteur de chaque plafond ; l'enveloppe est percée d'un grand nombre d'orifices à la hauteur des planchers et des plafonds ; l'air de la pièce entre par les orifices inférieurs dans la double enveloppe, s'échauffe, et rentre dans la pièce par les orifices supérieurs. Cette disposition est peu avantageuse, parce que les surfaces de chauffe n'ont pas assez d'étendue pour refroidir notablement la fumée ; d'ailleurs, elle présente des chances d'incendie, qui n'existent pas quand la fumée est employée à chauffer de l'air dans des calorifères placés en dehors des bâtiments.

Il serait certainement préférable de mieux utiliser la chaleur de la fumée à la formation de la vapeur, par un chauffage méthodique, et d'avoir des calorifères spéciaux pour le chauffage des bâtiments.

3138. Un grand nombre d'ateliers sont insalubres, non-seulement par la respiration des ouvriers, mais par la nature des opérations qui s'y exécutent. M. Darcet s'est occupé, le premier, de l'assainissement de ces ateliers, par l'emploi d'une ventilation forcée, produite par une cheminée d'appel, ou par un ventilateur aspirant, en disposant les orifices d'aspiration de manière à ce que l'air entraîne avec lui les gaz nuisibles. Nous ne décrirons pas les dispositions indiquées par M. Darcet, pour l'assainissement des soufroirs, des ateliers des doreurs, des laboratoires d'essais, des affineries d'or et d'argent, des salles de bains sulfureux, etc. ; nous renvoyons, pour ces objets,

à la collection des mémoires de ce chimiste ; nous nous contenterons d'indiquer quelques principes généraux.

3139. Lorsque des gaz ou des vapeurs nuisibles à la respiration ne se produisent que sur des points peu nombreux, et qu'on ne peut pas opérer dans des vases clos, il faut placer au-dessus une hotte de cheminée, dans laquelle l'air appelé, ou par la chaleur, ou par une action mécanique, entraîne avec lui les gaz et les vapeurs délétères. Quand la chose est possible, on augmente beaucoup l'effet produit, en diminuant l'étendue des orifices d'accès de l'air par des volets ou des rideaux ; mais il faut que l'atelier soit pourvu d'orifices d'une étendue suffisante pour l'introduction de l'air extérieur. C'est sur ce principe que M. Darcet a disposé les fourneaux de laboratoire et les fourneaux de doreurs au mercure. Quand les opérations ne peuvent pas se faire sous une hotte de cheminée, on peut produire l'appel par un canal descendant qui va rejoindre la cheminée en passant sous le parquet ; c'est la disposition indiquée par M. Darcet pour les salles de dissection ; les tables sont en métal, percées d'un grand nombre de trous, garnies d'un double fond et montées sur un tuyau en communication avec la cheminée.

3140. A ces dispositions se rapporte celle qui est indiquée par M. de Freycinet, dans son rapport sur l'*Assainissement des fabriques*, 1864, et qui est relative aux fours d'oxydation servant soit à la transformation du plomb en massicot et de celui-ci en minium, soit à la conversion de la céruse en mine orange. Au-dessus de la porte de chacun de ces fours est une hotte en communication avec la cheminée de l'usine ; les vapeurs qui peuvent sortir de la porte du four sont immédiatement entraînées et ne peuvent rentrer dans l'atelier.

3141. Lorsque les gaz appelés par le courant d'air sont en trop grande quantité pour que le mélange ne puisse pas être abandonné à l'extérieur, il faut placer dans le canal qui précède la cheminée d'appel des matières propres à absorber ces gaz. C'est ce qui arrive, par exemple, dans les affineries d'or et d'argent ; les alliages sont traités par l'acide sulfurique, et il se dégage beaucoup d'acide sulfureux qu'on peut absorber par la chaux. Dans les fabriques de soude, la décomposition du sel marin par l'acide sulfurique dans les fourneaux à réverbère, produit de grandes masses d'acide chlorhydrique qu'on peut absorber ou par l'eau ou par du carbonate de chaux. Avant qu'on ait imaginé de chauffer le four de décomposition du sel marin par la chaleur perdue du four dans lequel le sulfate de soude est décomposé par la craie et le charbon, j'avais employé une

disposition qui consistait dans de longs canaux en briques, renfermant à la partie inférieure une couche d'eau qui se renouvelait constamment, et communiquant avec une vaste cheminée qui recevait la fumée du four à soude. Cette disposition a très-bien réussi ; elle pourrait encore être employée dans le système actuel de fabrication, il suffirait d'établir un foyer spécial dans la cheminée ; mais, afin de ne pas être obligé de porter l'air à une trop haute température, il serait préférable d'avoir une cheminée très-haute et très-large. Il serait facile aussi de se servir d'un ventilateur. On emploie des dispositions analogues pour l'absorption de l'acide sulfureux, etc. M. Rougier a imaginé une disposition beaucoup plus simple. Les gaz qui sortent des fours à soude, après avoir passé dans le four de décomposition du sel marin, circulent dans un canal formé de pierre calcaire tendre, qui s'élève progressivement sur le penchant d'une colline, et se termine par une tour remplie de blocs de calcaire. Par cette disposition, le tirage des fourneaux est encore suffisant, presque tout l'acide chlorhydrique est absorbé par le calcaire, et forme du chlorure de calcium qui se réunit dans des bassins placés à de certaines distances, et qu'on enlève de temps en temps. Tous ces appareils, pour être efficaces, doivent avoir des dimensions suffisantes qui peuvent être déterminées, avec une approximation convenable, au moyen des différents éléments renfermés dans cet ouvrage.

3142. L'emploi de tours renfermant du coke sur lequel coule constamment une pluie d'eau froide est un moyen simple de produire l'absorption des gaz solubles dans l'eau comme l'acide chlorhydrique. A Newcastle, M. Alhusen emploie six tours d'une hauteur de 40 mètres qui reçoivent le gaz résultant de la décomposition journalière de 50 à 60 tonnes de sel ; les colonnes ont 4^{mq} de section, le coke occupe les trois quarts de la hauteur, la partie supérieure est occupée par les réservoirs d'eau et les appareils de distribution. Non-seulement on absorbe ainsi complétement les vapeurs d'acide chlorhydrique, mais le liquide recueilli au bas de la tour est assez concentré pour servir à la fabrication du chlorure de chaux, etc.

3143. On peut encore détruire les gaz ou les matières nuisibles au moyen de la chaleur avant de les rejeter dans l'atmosphère ; nous avons parlé de ce procédé quand il s'est agi des miasmes des hôpitaux ; ce procédé difficile à employer dans ce cas devient souvent facile et économique dans une usine où il suffit de mélanger ces gaz avec l'air brûlé qui s'échappe des fourneaux. Ce procédé a été em-

ployé par M. Vickers de Manchester pour détruire les odeurs nauséabondes produites dans la fabrication de la gélatine ; les chaudières dans lesquelles les os ou autres matières sont soumises à l'ébullition, sont fermées sauf une ouverture par laquelle les vapeurs se rendent dans un conduit qui les dirige dans celui des flammes du foyer. On peut faire aussi traverser aux gaz un foyer de coke ; c'est ce qui a été fait à Menecambe, près de Lancaster, dans une fabrique de gélatine et à Islington, chez M. Atcheler, où l'on abat les chevaux pour en faire bouillir la viande et extraire la graisse ; les gaz de chaque chaudière se brûlent sous son propre foyer.

3144. On peut enfin employer à la fois les deux moyens que nous venons d'indiquer, c'est ce que l'on fait en Angleterre pour les gaz qui résultent de la fabrication des engrais artificiels obtenus en traitant un mélange d'os et de posphate naturel par l'acide sulfurique ; il se produit des gaz de nature complexe qu'on envoie dans un des condensateurs analogues à ceux précédemment décrits : conduits de circulation ou tour à coke, puis sous la grille d'un foyer (*Rapport de M. de Freycinet*).

3145. Mais quand les gaz nuisibles se produisent dans toute l'étendue des ateliers, il n'y a qu'un système général de ventilation qui puisse produire l'assainissement.

3146. Cette ventilation peut être naturelle ou se faire mécaniquement. M. de Freycinet indique différents procédés spéciaux de ventilation naturelle dont il indique l'efficacité. Le premier est le *siphon automoteur* de M. Watson d'Halifax qu'on peut employer toutes les fois que l'atelier à ventiler est en communication avec une cage d'escalier fermée présentant une certaine hauteur ; on surmonte cette cage d'une cheminée qui traverse la toiture et qui est divisée en deux compartiments par une cloison verticale ; l'un de ces compartiments s'élève un peu plus que l'autre, la cheminée est surmontée d'une calotte pour parer à la pluie et à l'action des vents ; dans le mur de l'atelier qui est contigu à la cage d'escalier, on perce deux orifices à des hauteurs inégales ; il paraît qu'il s'établit un courant continu de sortie de l'air par l'orifice le plus élevé, ce courant se dirige vers la partie élevée de la cheminée ; l'air pur rentre par la partie la plus basse de la cheminée pour rentrer dans l'atelier par l'ouverture intérieure pratiquée dans le mur. Un second moyen est celui qui est employé dans la fabrique de bougies de M. Price à Battersea (Londres), et qui sert à ventiler les salles de dépôt de bougies fabriquées ; ces salles sont au nombre de deux, elles ont 45 mè-

tres de longueur et 16 mètres de large ; on les a recouvertes d'une toiture cylindrique en tôle mince percée suivant l'arête supérieure de quatre ou cinq ouvertures circulaires avec cheminées de $0^{m},40$ de hauteur. Quand la tôle s'échauffe sous l'action du soleil, l'air est mis en mouvement dans le haut de la salle et il se produit un appel violent des portes vers les cheminées (*Rapport de M. de Freycinet*).

3147. La ventilation peut se faire en mettant l'atelier en communication avec la cheminée de l'usine soit constamment, soit d'une façon intermittente ; on trouve un exemple de ce dernier cas dans la fabrication du chlorure de chaux à Thann, chez M. Ch. Kestner ; les chambres sont, avant l'entrée des ouvriers pour le chargement et le déchargement, mises en communication avec la cheminée de l'usine. C'est aussi par ce procédé que se trouve ventilée d'une façon permanente la salle de filage de MM. Villeminot, Huart, V. Rogelet et Cie à Reims ; cette salle a 4 000^{mq} de surface.

Enfin, dans beaucoup de circonstances, il sera préférable d'avoir recours pour la ventilation à des procédés mécaniques ; nous allons donner un certain nombre d'exemples de l'emploi des ventilateurs.

3148. La filature du lin comprend un certain nombre d'opérations dans lesquelles la ventilation serait absolument indispensable ; pour le cardage on emploie, comme à la filature de M. Eys à Gand, les cardes à ventilateurs dont nous avons déjà parlé, mais il est une opération qui réclamerait surtout l'assainissement des ateliers, c'est celle du filage à l'*humide ;* dans cette opération le fil déjà formé et étiré au banc à broches, doit recevoir son dernier étirage et sa dernière torsion au métier à filer.

Il passe avant l'étirage dans une rigole qui surmonte le métier et dans laquelle se trouve de l'eau constamment chauffée par un courant de vapeur. Il en résulte que l'atmosphère de l'atelier est à une température élevée, constamment saturée de vapeur et chargée de matières organiques résultant de la fermentation des matières altérables que contient le lin ; de plus, de l'eau est mécaniquement projetée sur les ouvrières par le mouvement des broches. Il y a là une des situations les plus déplorables de l'industrie. Une ventilation effective de l'atelier le rendrait évidemment salubre, mais il semble que la vapeur chaude soit une condition de bon travail ; en présence de ces deux termes contradictoires, on a essayé de la ventilation à l'air chaud ; chez M. Tiers, à Orchies, et chez madame veuve Pauris et fils à Fives-lez-Lille, on a utilisé les flammes perdues du foyer, au moyen d'un appareil à tuyaux, installé par M. Giraudon, pour

chauffer de l'air qui est introduit à la partie supérieure des ateliers par des orifices placés de 2 en 2 mètres ; l'air est chauffé à la température de 25° ; des orifices placés à $0^m,80$ du sol sont en communication avec des cheminées d'évacuation.

3149. *Filatures de coton.* — Nous avons déjà dit qu'on emploie pour l'ouverture et le battage du coton des machines munies de ventilateurs qui aspirent les poussières en dehors de l'atelier ; mais il est utile de ne point les rejeter dans l'atmosphère ; on y arrive en faisant passer l'air dans une cave de dépôt : chez M. Saladin, à Nancy, la cave à poussière a 50 mètres de long et 13^{mq} de section, l'air y circule avec une extrême lenteur et toutes les poussières se déposent avant la sortie.

Il n'est pas moins utile de ventiler les ateliers eux-mêmes ; on parvient ainsi à y entretenir une température uniforme et une certaine fraîcheur en même temps qu'on enlève les impuretés ; ces différentes circonstances sont favorables au travail.

3150. A Oissel, chez M. Octave Fauquet, la salle principale qui contient le cardage et le filage a 9000^{mq} de superficie ; afin de rendre moins faciles les changements de température, on a recouvert la voûte qui forme le toit d'une couche de plâtre alvéolée ; les croisées sont sur le toit et à double vitrage. Le chauffage est à eau chaude, la lenteur des variations de température que subit un atelier ainsi garanti permet ce mode de chauffage, alors même qu'on veut maintenir la température constante. La ventilation est mixte, elle est effectuée au moyen de deux ventilateurs de $1^m,50$ de diamètre placés dans une galerie souterraine de 2 mètres d'ouverture. L'un de ces ventilateurs produit la pulsion de l'air et l'autre l'appel ; ils fonctionnent à la vitesse de 250 à 300 tours, l'air pénètre et sort par des orifices pratiqués dans le sol. C'est par les orifices pratiqués au voisinage des cardes que se fait la sortie. On donne à l'air une humidité suffisante en lui faisant traverser une pluie d'eau froide qu'on fait tomber dans la galerie d'introduction au moyen d'une pomme d'arrosoir.

3151. Chez MM. Steinbach, Kœchlin et Cie, la salle de filage a 7000^{mq} ; la ventilation est obtenue en partie par l'aspiration qui se produit dans la salle des batteurs, mise en communication avec celle de filage et en partie par des ventilateurs qui agissent par aspiration.

3152. Dans la filature de MM. Schlumberger, à Mulhouse, on ventile un grand atelier de tissage au moyen d'un ventilateur à force

centrifuge de la maison Ducommun. En hiver, l'air introduit par pulsion passe dans un calorifère à air chaud ; en été, l'air que refoule le ventilateur est rafraîchi par sa circulation sur de l'eau froide ; dans tous les cas l'air pénètre dans l'atelier par des orifices grillés répartis dans l'axe de ce vaste local. Il n'y a pas d'appareils d'appel pour l'évacuation de l'air vicié. L'air neuf afflue, avec une vitesse modérée et sans bruit, par une bouche de ventilation. Le résultat a été satisfaisant : abaissement convenable de la température en été et bien-être des ouvriers en toute saison. Cette installation a été faite par M. Th. Schlumberger, ancien élève de l'École centrale.

3153. Dans les établissements de MM. Dollfus-Mieg et Cie, chaussée de Dornach à Mulhouse, la ventilation par pulsion est appliquée à un vaste grenier sous comble de 150 mètres de longueur, 24 mètres de largeur, divisé en trois salles d'une capacité totale de 11000 mètres cubes. Ce local n'était pas destiné à devenir un atelier ; les circonstances ayant mené à lui donner cette destination, on dut songer à combattre la chaleur insupportable qui s'y développait en été ; après diverses tentatives de véntilation naturelle ou par appel qui ne donnèrent que des résultats insuffisants, on pensa à recourir à la pulsion. Cette installation a été décrite dans le *Bulletin de la Société de Mulhouse* pour janvier 1877 par M. Engel-Gros, ingénieur des constructions dans l'établissement, qui l'avait organisée.

3154. L'air est insufflé dans cet atelier au moyen de jets d'air comprimé, système que M. Piarron de Montdesir avait essayé à l'Exposition de 1867 ; ici le nombre des buses a été heureusement multiplié et chacune n'a eu à produire qu'une assez faible fraction de l'effet total. Sur chacun des côtés longitudinaux de l'atelier sont posés horizontalement cinq tuyaux amenant l'air neuf, dont trois ont une section de $0^{mq},1963$ et quatre une section de $0^{mq},25$; ces tuyaux prennent l'air au dehors par l'une de leurs extrémités située à une assez faible distance du sol, tandis que la seconde extrémité débouche librement dans les salles ; les buses établies dans ces tuyaux, à leur origine, lancent de l'air comprimé par un cylindre soufflant à une pression qui a été dans les expériences citées de $0^{m},10$, $0^{m},12$, $0^{m},145$ de mercure. On a remarqué que l'effet utile avait été plus grand avec les plus petites pressions qu'avec les plus fortes. Les buses ont 78 millimètres carrés de section chacune. Une machine à vapeur qui développe une force de 11 à 12 chevaux actionne le cylindre soufflant, à double effet. Cette machinerie est installée à l'étage de l'atelier. Un petit jet d'eau froide, provenant d'un puits,

est lancé dans chaque buse et dans le sens du jet d'air, pour le rafraîchir et l'humidifier. Le thermomètre placé dans un de ces tuyaux porte-vent, à son débouché dans la salle, marquait 18 à 19°, alors que la température extérieure était de 23 à 24°, mais la différence de température entre l'air de la salle et l'extérieur n'est habituellement que de 1 1/2 à 2°. Comme on devait le prévoir, le bien-être obtenu dans cet atelier (intenable en été quand il n'était pas ventilé), était bien supérieur à ce qu'on pouvait espérer de cette faible différence de température de 2° ; cela tenait au renouvellement même de l'air.

3155. La plus grande humidité qui règne dans les salles a été constatée au moyen du psychromètre ; les conditions de l'emploi du psychromètre ne sont pas suffisamment indiquées pour qu'on en puisse déduire avec certitude la différence d'état hygrométrique ; cependant, en supposant que les observations eussent été comparables et pour une moyenne de la température égale à 25°, les différences observées de 2°,6 et 4°,6 pour les salles ventilées et pour une salle non ventilée répondent à un état hygrométrique qui est 0,80 pour les premières et 0,68 pour la dernière.

3156. Dans le porte-vent, il y a un réceptacle pour l'eau injectée qui a été condensée ou dispersée en trop grosses gouttes par le jet d'air. L'injection d'eau est utile pour ramener ou maintenir l'air au degré de saturation convenable ; elle procure en même temps un rafraîchissement qui est le résultat : 1° d'un échange de température ; 2° d'une évaporation. On pourrait aussi obtenir l'air plus frais que l'air ambiant en le puisant à une certaine hauteur dans l'atmosphère loin des surfaces échauffées par le soleil. Dans le mode de ventilation adopté, un certain rafraîchissement provenait aussi de la détente de l'air à sa sortie de la buse ; il est vrai qu'il y a en même temps compression de l'air entraîné, mais on pourrait calculer ce rafraîchissement en déterminant le travail que représente la vitesse de l'air entraîné ; en divisant par l'équivalent mécanique de la chaleur, on aurait le nombre de calories négatives obtenues.

3157. Dans la longueur du faîte du bâtiment ventilé sont placés dix tuyaux en zinc pour l'évacuation de l'air vicié, la section de chacun d'eux est de $0^{mq},1963$, soit ensemble $1^{mq},1778$, tandis que les orifices d'entrée de l'air neuf offrent une section totale de $2^{mq},1778$; aussi dans chacune des cheminées, a-t-on placé une buse d'air comprimé qui opère un certain tirage. Néanmoins la totalité de l'air évacué ainsi, sans même tenir compte de l'accroissement de volume que l'air a subi dans les salles par suite de l'élévation de sa tempé-

rature, est-elle sensiblement inférieure au volume d'air neuf fourni par les orifices d'introduction. Il en sort donc par d'autres issues, on peut donc en conclure qu'il serait possible de ventiler sans l'aide de l'appel, en disposant simplement des orifices convenables de sortie pour l'air.

3158. Le mémoire mentionne l'essai d'une ventilation, par l'emploi d'un ventilateur à force centrifuge, qu'on a comparée à celle que nous venons de décrire. Les dimensions de ce ventilateur ne sont pas indiquées non plus que les dispositions appliquées pour produire la ventilation. Il est assez difficile dès lors de discuter les résultats obtenus qui seraient, d'après le mémoire, favorables au système de l'injection. Peut-être faudrait-il conclure, au contraire, que le ventilateur n'était pas installé dans les meilleures conditions possibles ; le système de l'injection d'air pour ventiler par pulsion nous paraît toujours n'offrir aucun avantage sur les autres moyens mécaniques bien constitués.

3159. Les buses fonctionnant avec de l'air comprimé à 11 ou 15 centimètres de pression donnent un certain bruit bien connu dans les usines métallurgiques. Ce bruit ne serait pas tolérable dans un hôpital, un amphithéâtre, etc.

3160. Quand la pression de l'air variait de 11 millimètres à 17 millimètres de mercure, la force de la machine variant de 11 chevaux à 10 chevaux, le déplacement de l'air a varié de 3,600 mètres cubes à 1,950 mètres cubes par heure et par cheval. Les quantités d'air fournies aux ateliers renouvellent l'air trois fois et demie à peu près par heure.

3161. *Manufactures de tabac.* — L'air est vicié dans les ateliers qui servent à la confection des cigares par les émanations du tabac humecté et par la présence d'un grand nombre d'ouvriers ; MM. Rolland, ingénieur en chef des manufactures de l'État et M. Demondésir, ingénieur en chef de la même administration, ont exécuté dans un certain nombre de manufactures de tabac, des travaux pour la ventilation de ces salles. La ventilation se fait par pulsion au moyen de ventilateurs, l'air pris au dehors est envoyé dans des gaînes pratiquées dans l'épaisseur des planchers, pénètre dans la salle par des bouches de poêles chauffés en hiver ; les orifices de sortie sont sur le plancher et communiquent avec des gaînes d'évacuation qui se rendent au-dessus des toits. A Nantes, le ventilateur a $1^{m},30$ de diamètre, il fait 350 tours à la minute ; il sert à la ventilation de cinq salles de 40 mètres de long sur 13 de large contenant chacune

250 ouvrières environ; chaque salle contient 4 poêles de chauffage, alimentés chacun par deux conduits de $0^m,35$ sur $0^m,18$ de section; la section totale des conduits est de $0^{mq},50$ environ. La section des canaux de sortie est la même; il y a deux cheminées d'appel de $8^m,50$ de hauteur au-dessus du niveau du plafond de la salle; on fournit dans les salles 8 mètres cubes d'air par personne et par heure; ce chiffre est suffisant, paraît-il, pour faire disparaître toute odeur et toute humidité.

L'air neuf, avant d'arriver aux ventilateurs, traverse une cave, ce qui permet d'obtenir en été de l'air frais au moins pendant quelques jours.

3162. Dans toutes les usines dans lesquelles on travaille l'acier avec des meules en grès mobiles tournant rapidement sur leur axe, comme dans les fabriques d'armes blanches, de coutellerie, de scies, les ouvriers sont peu incommodés quand les meules restent constamment mouillées; mais quand le travail se fait à sec, et, dans tous les cas, quand il faut tourner les meules déformées par un long travail et l'inégale dureté des parties, il se produit une grande quantité de poussière très-fine qui agit de la manière la plus grave sur la santé des ouvriers. On a remédié à cet inconvénient en enveloppant une partie de la circonférence de la meule d'un canal concentrique en bois d'une longueur peu différente de celle de la meule, fermé latéralement, ouvert en dessus, et communiquant avec l'orifice d'appel d'un ventilateur à force centrifuge. Le mouvement de la meule ayant lieu en dessus dans la direction de la partie libre de la circonférence à la partie enveloppée, l'air appelé par le ventilateur entraîne toutes les poussières siliceuses qui se détachent, et le travail n'a plus aucune action nuisible sur la santé des ouvriers.

3163. M. de Freycinet dans son rapport cite différents exemples de l'emploi de ces dispositions en Angleterre, pour le travail de l'acier; il indique le même emploi pour les machines qui servent à ouvrir les paquets de coton brut et à carder, et pour les machines de préparation de la laine, ainsi que pour la grande salle de cardage de sa grande filature de lin de la Lys à Gand.

3164. Quand les poussières doivent être recueillies pour être employées ultérieurement, on peut encore employer un ventilateur, mais en plaçant sur le trajet de l'air avant sa sortie dans l'atmosphère une caisse de dépôt convenablement disposée. Chez M. Leroux, à Rennes, le broyage du tan se fait dans des moulins à noix parfaitement clos; au-dessus de la cloche du moulin se trouve un ventila-

teur qui lance la poussière fine dans une caisse de dépôt du système Perrigault; cette caisse a 4m,50 de longueur, 1m,20 de largeur et 1m,10 de hauteur, elle est divisée par des tablettes horizontales en dix compartiments que l'air traverse successivement en laissant déposer sur ces tablettes la plus grande partie des poussières dont il est chargé. A l'usine céramique de M. Davenport, à Longport, l'établi sur lequel se fait le grattage des pièces est percé d'un grand nombre de trous qui débouchent dans une caisse d'aspiration placée au-dessous de la table et dans laquelle les poussières se déposent.

3165. Il y a aussi des ateliers qui sont insalubres par le mode de chauffage. Les fabricants de cierges chauffent encore leurs bassines avec des fourneaux à charbon placés au milieu de l'atelier, qui souvent n'a pas de cheminée. En 1806, les hongroyeurs de Paris, et certainement tous ceux du reste de la France, échauffaient l'étuve dans laquelle on passe les cuirs au suif, au moyen d'un foyer à charbon de bois sans issue pour l'air brûlé; et la quantité de charbon consommé était considérable, car la température de l'étuve s'élevait à 50 ou 60°. Les ouvriers étaient cependant obligés de séjourner dans cette étuve remplie d'acide carbonique, mais il arrivait souvent de graves accidents. Ce ne fut qu'avec beaucoup de peine et par des expériences qui démontrèrent combien le chauffage par les poêles était plus économique et plus salubre, qu'on parvint à leur faire adopter ce nouveau mode de chauffage (*Bulletin de la Société d'encouragement*, tome V, p. 67). D'autres ateliers sont encore dans le même cas et pourraient de même très-facilement être rendus salubres.

Pour faire voir combien cet usage peut être dangereux, rappelons-nous qu'un kilogramme de charbon en brûlant convertit en acide carbonique la totalité de l'air renfermé dans 9 mètres cubes d'air; mais l'air devient impropre à la respiration quand il renferme un cinquième de son volume d'acide carbonique; d'où il suit qu'un kilogramme de charbon rend irrespirables 45 mètres cubes d'air. Mais la combustion du charbon est presque toujours accompagnée de la production d'une certaine quantité d'oxyde de carbone, et nous avons vu (2363) combien ce gaz était délétère.

3166. Les ateliers des ferblantiers, fabricants de lampes, sont souvent dans le même cas; il s'y trouve des foyers permanents à charbon de bois à chauffer les fers à souder; on diminue les inconvénients du chauffage et on le rend plus économique par l'emploi du gaz d'éclairage : le gaz est amené devant les ouvriers par des tuyaux fixes

garnis de tubulures à robinets auxquelles sont fixés de petits tuyaux en caoutchouc, chacun s'enroule à une certaine distance autour du manche du fer à souder, et se termine par un ajutage percé d'un très-petit trou qui projette une flamme sur la tête du fer; celui-ci reste alors à une température constante toute la journée, et peut être déplacé à une distance qui dépend de la longueur du tube en caoutchouc. Il est encore bon nombre d'industries où cette substitution du gaz au charbon a été faite avec avantage. Il ne paraît pas cependant que l'emploi du gaz brûlant dans l'atmosphère soit parfaitement salubre; nous avons déjà dit quels sont les inconvénients qui peuvent résulter de sa combustion au sein de l'air de la respiration; quand le gaz brûle dans des appareils fixes, il est toujours nécessaire de munir ces appareils de cheminées d'évacuation; si ces appareils sont mobiles, comme c'est le cas dans les exemples que nous venons de citer, il est important qu'une ventilation suffisante et convenablement appliquée fasse disparaître les produits de la combustion avant qu'ils arrivent aux organes respiratoires des ouvriers.

Ventilation du dépotoir de la Villette.

3167. Pendant des siècles, il a existé sur le versant oriental de la butte Chaumont, un emplacement connu sous le nom de voirie de Montfaucon, sur lequel étaient transportées toutes les matières infectes dont le séjour, dans l'intérieur de la ville de Paris, pouvait nuire à la salubrité. Dans ces derniers temps, par suite de la substitution des citernes étanches aux fosses perméables qui recevaient autrefois les matières fécales, la voirie de Montfaucon avait pris un immense développement, et plusieurs hectares de terrain étaient transformés en vastes bassins, remplis du liquide fourni par la vidange des fosses d'aisances.

Ces bassins et les terrains avoisinants affectés à la dessiccation des matières pâteuses qui étaient extraites des bassins pour être transformées en poudrette, répandaient dans l'atmosphère des gaz infects, qui, portés par les vents à des distances considérables, rendaient très-insalubres certains quartiers de Paris et les communes voisines.

Cet état, devenu intolérable par suite de l'extension de la voirie, avait soulevé de vives réclamations, et depuis bien des années on demandait, avec de vives instances, la suppression d'un établissement si incommode et si insalubre. En 1823, Louis XVIII, voulant

favoriser cette mesure de salubrité, avait cédé à la ville de Paris, sur les bords du canal de l'Ourcq, un vaste terrain destiné à remplacer la voirie de Montfaucon ; on y fit des travaux d'appropriation, et dans la pensée que le transport pourrait se faire par le canal, on créa, à la petite Villette, un port destiné à l'embarquement des récipients. Cette pensée était naturelle en 1826; mais comme, par suite de la sévérité apportée par la police à la construction des fosses étanches, le volume des matières s'accroissait si rapidement qu'en vingt années il avait plus que quadruplé (en 1848, il était de 210000 mètres cubes), on avait successivement reculé devant le transport par bateaux et par les chemins de fer. On ne savait quel parti prendre, quand M. Mary, ingénieur en chef des ponts et chaussées, professeur à l'École centrale, et chargé alors du service municipal, proposa de créer à la Villette un établissement clos, dans lequel entreraient les voitures de vidange, où les matières, renfermées dans des tonnes de 2 mètres cubes de capacité, seraient versées dans de vastes fosses, et d'où elles seraient envoyées à Bondy, au moyen de pompes qui les refouleraient dans un tuyau de conduite souterrain.

3168. Cet établissement créé de 1845 à 1848, et connu sous le nom de Dépotoir, a été mis en activité au printemps de cette dernière année et n'a pas cessé de fonctionner depuis cette époque. Deux conduites de $0^{m},27$ de diamètre, en tôle revêtue de bitume intérieurement et extérieurement, établissent une communication souterraine entre le dépotoir et les bassins de la voirie de Bondy. Deux systèmes de pompes, destinées à se suppléer, mues par une machine à vapeur de 25 chevaux, dont on n'utilise que 12 chevaux, permettent de refouler en quelques heures, jusqu'à Bondy, à 10 kilomètres de distance, les matières liquides versées dans les fosses du dépotoir. Le volume de liquide lancé par les pompes est de 100 mètres cubes par heure. Arrivées à Bondy, ces matières sont employées à la fabrication des engrais et des sels ammoniacaux.

Les bâtiments du dépotoir se composent de neuf hangars couverts, adossés, dans chacun desquels peuvent entrer trois voitures ; au-dessous de chacun se trouvent trois fosses égales, garnies d'un large orifice à la partie supérieure ; les trois fosses d'une même rangée communiquent entre elles par de larges orifices percés à la partie inférieure, mais placés alternativement à droite et à gauche. Les voitures de vidange que l'on rencontre le soir dans Paris, arrivent à la Villette de minuit à huit heures du matin, s'arrêtent sous les

hangars, et les tonneaux sont vidés par un sac de débardage qui laisse couler les matières dans les fosses sans qu'il en jaillisse rien au dehors. Ces matières se répandent dans les fosses, qui, comme nous l'avons dit, communiquent toutes entre elles, et dans leur tra- et laissent déposer les matières solides qu'elles contiennent. Les tuyaux d'aspiration des pompes communiquent avec les trois fosses qui correspondent au dernier hangar.

3169. Lorsque les fosses ont été épuisées par l'action de la machine, elles doivent être nettoyées des résidus qui s'y sont amassés, et qui présentent une épaisseur de $0^m,10$ environ. On facilite le départ en lâchant en haut du radier un courant d'eau vive qui agite et délaye les matières et permet d'en tirer encore une partie à la pompe. La dernière couche, composée principalement de gravois, doit être extraite au rabot, mise en baril, et remontée au treuil. C'est le travail des zingueurs; travail sale, pénible et dangereux. Malgré l'influence salutaire de l'eau vive, qui, rafraîchissant les produits fermentés, arrêtait le développement des gaz, l'opération restait un écueil pour les ouvriers, qui ne s'y aventuraient qu'avec précaution et en laissant les trappes ouvertes. Plusieurs fois cependant un dégagement subit de gaz, ou un air infect et chaud amassé dans la fosse, surprit l'ouvrier et l'asphyxia. Ces accidents graves heureusement n'étaient pas fréquents, mais l'odeur était souvent détestable, surtout par l'abaissement de la pression atmosphérique. L'eau ne suffisant pas à l'assainissement des fosses, il fallait y introduire un courant d'air énergique.

La nécessité de la ventilation avait été prévue par M. Mary, et un ventilateur, mû par la machine à vapeur, avait été disposé pour enlever l'air des dernières fosses ; le renouvellement de l'air y était très-vif, mais ce mouvement n'existait pas dans toutes les autres. Cet appareil ayant été construit peu de temps avant que M. Mary eût quitté le service de la ville de Paris, cet habile ingénieur n'avait pas eu le temps de perfectionner l'effet de la machine en l'étendant à toutes les fosses.

3170. M. Mille, ingénieur des ponts et chaussées, chargé du service du dépotoir, a achevé l'œuvre de M. Mary. Voici sur cet achèvement les détails donnés dans un rapport par M. Mille.

« On se décida à ouvrir dans les reins des voûtes trois conduits de $0^m,39$, sur lesquels se branchent des conduits secondaires de $0^m,31$, lesquels se terminent par des bouches de $0^m,062$, abordant chaque cellule. L'air descend par les trappes ouvertes, balaye complète-

ment la cellule et s'échappe par les deux bouches qu'il va rencontrer à la paroi de chaque voûte. Les grands conduits aboutissent à la chambre du ventilateur, d'où les gaz sont refoulés dans une cheminée spéciale, adossée à la cheminée de la machine. Des vannes régulatrices à l'orifice de chaque ligne, des tiroirs au-devant de chaque bouche, permettent de répartir le travail du ventilateur, et de l'appliquer aux lignes et aux capacités dont le service veut un assainissement immédiat.

3171. « Ces dispositions ont complétement réussi ; et quoique les citernes reçoivent tout ce qu'il y a de plus infect à Paris, tout ce qui sort des hôpitaux, des casernes et des maisons pauvres, le service se fait avec une sécurité parfaite. Au moment où les ouvriers descendent, l'aération est vive et fraîche, comme sur un boulevard. Il n'y a plus de traces d'hydrogène sulfuré ou d'ammoniaque. Les objets d'or ou d'argent qu'on porte avec soi ne subissent pas la moindre altération, les yeux n'éprouvent pas le moindre picotement, enfin la température des citernes ne diffère pas de celle de l'air extérieur.

« La ventilation est si complète que nous n'avons pas hésité à éclairer les citernes par le gaz. Au centre de chaque profil est un bec d'Argant. Un fumivore emporte, vers la bouche d'aérage, les produits de la combustion. La flamme est vive et blanche. Le gaz a remplacé les chandelles, qui ajoutaient une infection de plus aux miasmes qui s'échappaient autrefois. Chaque cellule va posséder une bouche d'eau, un bec de gaz et deux bouches d'air. Ce système si simple a rendu le dépotoir l'une des usines de la Villette peut-être la moins insalubre. Toutes les plaintes élevées d'abord par les habitations voisines ont disparu. La santé des ouvriers est excellente ; leur moral est relevé par la puissance même des moyens de propreté et de salubrité mis à leur disposition.

« Quelques expériences peuvent expliquer l'énergie de la ventilation.

« En plaçant un anémomètre dans le courant, avant et après le ventilateur, on a trouvé :

« En avant, dans une section de $0^m,30$, une vitesse de $8^m,12$;

« A la sortie, dans une section de $0^m,17$, une vitesse de $12^m,39$.

« A ces deux nombres correspondent des débits, par seconde $2^m,44$ et $2^m,45$, chiffres qui prouvent des opérations concordantes. D'après le dernier nombre, le volume d'air extrait par heure du ventilateur est de 8100 mètres.

3172. « Pour faire la répartition et régler les orifices des tiroirs,

on a d'abord tout ouvert, et mesuré ce qu'il passait d'air par chaque bouche de $0^m,062$. Les vitesses, dans les citernes n° 1, n° 5, n° 9, étaient $1^m,07$, $1^m,60$, $5^m,21$. On voit que l'action du ventilateur croissait rapidement à mesure que la distance des orifices d'appel devenait plus petite. Mais avec la faible vitesse de $1^m,07$, la citerne la plus éloignée débitait encore par ses deux bouches, d'une surface totale de $0^m,125$, un volume de $0^m,133$ par seconde, ou 480 mètres par heure ; et comme le volume de la citerne est d'environ 80 mètres, le renouvellement de ce volume aurait eu lieu six fois dans une heure ; mais la citerne d'aval dépensait par seconde $1^m,065$, ou par heure près de 2530 mètres, environ trente fois son volume.

« Pour corriger l'excès d'appel dans la citerne la plus voisine du ventilateur, on y réduisit les bouches à $0^m,05$ de surface, et on gradua les ouvertures des tiroirs successifs, en augmentant très-peu les derniers numéros et beaucoup les premiers ; la citerne n° 1, la plus éloignée, garda seule son orifice total de $0^m,12$. Avec cette disposition, on obtint sur ce dernier point une vitesse double aux bouches d'appel, le volume s'éleva par heure à près de 960 mètres. On était ainsi bien près d'avoir égalisé le tirage dans toutes les citernes. Nous n'avons pas poussé plus loin nos épreuves, parce qu'il nous suffisait d'avoir la certitude que l'on pouvait différencier à volonté le tirage sur tous les points ; c'était le but du travail, et il nous semblait atteint.

3173. « Ces résultats d'assainissement, dans les conditions les plus défavorables, prouvent, si je ne me trompe, que la question de désinfection est une étude de mécanique bien plus qu'un problème de chimie. Les agents naturels, l'air et l'eau, sont certainement l'aide la plus efficace quand on ne cherche que la salubrité de la ville et de l'habitation. Ce n'est pas à dire que la chimie n'ait rien à faire en pareille matière ; elle intervient aussitôt qu'il s'agit de livrer des engrais à l'agriculture, ou des produits ammoniacaux à l'industrie. Mais tant qu'on reste au point de vue de la police administrative, on n'a besoin que des deux plus simples agents de la nature ; en mettant l'eau partout, en renouvelant l'air constamment, on doit dominer l'infection, parce que l'on parviendra toujours, soit à l'empêcher de se produire, soit à la noyer dans un courant qui l'emportera. »

La construction du dépotoir de la Villette a été un service réel rendu à la ville de Paris par M. Mary, service qui n'a peut-être pas été assez apprécié. C'est incontestablement un travail remarquable,

car il y avait de grandes difficultés à vaincre, et le but à atteindre a été obtenu du premier coup.

Magnaneries.

3174. On désigne ainsi les ateliers dans lesquels on élève les vers à soie ; je ne m'occuperai point des détails de cette opération, je renvoie pour cela aux ouvrages spéciaux sur cette matière et aux mémoires publiés par les sociétés d'agriculture ; je ne parlerai que de la ventilation, l'une des conditions les plus importantes à remplir.

Une magnanerie est une vaste salle, dans laquelle sont placés des claies superposées, convenablement espacées, sur lesquelles les vers à soie se développent pendant une durée qui varie de 40 à 47 jours. M. Darcet et M. Robinet se sont occupés avec soin et talent de la disposition du chauffage et de la ventilation des magnaneries. Dans la disposition proposée par M. Darcet, les claies occupent toute la hauteur de la pièce, qui est divisée en trois étages par des planchers disposés seulement autour des claies, et ayant pour objet de faciliter le travail des ouvriers ; un calorifère placé au-dessous de la pièce amène, au niveau du plancher de la magnanerie, de l'air chaud qui pénètre par un grand nombre d'orifices placés au-dessous des claies ; l'air chaud s'élève ensuite jusqu'au plafond qu'il traverse par un grand nombre d'orifices aboutissant dans un grand canal qui débouche dans la cheminée du calorifère ; suivant la température extérieure et l'âge des vers, l'air est plus ou moins échauffé ; la ventilation peut être activée par l'appel d'un ventilateur placé dans les combles. Ce mode de ventilation a plusieurs graves inconvénients : l'air chaud s'élève nécessairement par les chemins qui présentent le moins de résistance, et les claies supérieures ne reçoivent que de l'air déjà vicié par son passage à travers les claies inférieures, et si la magnanerie n'est pas divisée en plusieurs étages par des planchers qui obligent l'air à traverser les claies, l'air s'élèvera autour, et la ventilation, quoique très-puissante, n'agira nullement entre les claies.

3175. Plus tard, M. Aribert a employé un autre mode de ventilation qui paraît avoir donné de très-bons résultats ; cette nouvelle disposition, qu'il désigne sous le nom de ventilation renversée, consiste à faire arriver l'air chaud par un grand nombre d'orifices placés dans le plancher, l'air froid par des orifices placés dans le plafond, et à faire sortir l'air par des cheminées d'appel dont les orifices d'accès

sont au niveau du plancher ; les orifices d'accès de l'air chaud et de l'air froid peuvent être réglés à volonté.

3176. Pour comprendre les effets produits par cette disposition, il faut examiner deux cas : 1° celui où la magnanerie est disposée d'après la méthode de M. Darcet, où elle a plusieurs étages de planchers qui occupent les intervalles entre les piles de claies, de manière que l'air dans son mouvement de haut en bas ou de bas en haut soit obligé de les traverser ; 2° celui où les espaces qui séparent les piles de claies sont libres de haut en bas. Dans le premier cas, quand la ventilation a lieu seulement par de l'air échauffé, il se produit deux courants dans lesquels l'air doit être plus vicié que quand il s'écoule par le haut, à moins cependant que la ventilation ne soit beaucoup plus grande ; quand la ventilation a lieu par de l'air froid marchant de haut en bas, l'air est nécessairement vicié dans sa marche comme quand l'air chaud s'écoule de bas en haut ; quand la ventilation a lieu à la fois par de l'air chaud et par de l'air froid, il y a des courants qui tendent à marcher en sens contraire, et on ne peut pas prévoir ce qui se passerait. Mais quand les espaces qui séparent les piles des claies sont libres ; si la ventilation a lieu seulement par l'air chaud, il s'élèvera entre les piles, et en descendant, il se répandra uniformément dans toute la section de la magnanerie, et la ventilation sera très-efficace ; elle le sera moins quand elle sera uniquement produite par de l'air froid marchant de haut en bas, parce que cet air s'écoulera presque uniquement dans les intervalles des piles ; enfin, si la ventilation avait lieu à la fois par de l'air chaud et de l'air froid ; elle serait probablement encore très-efficace parce que les deux courants descendants se propageraient partout.

3177. A mon avis, aucun de ces modes de ventilation ne renouvelle sûrement l'air qui se trouve entre les claies, et on n'y parviendra qu'en faisant mouvoir l'air horizontalement, attendu que l'air éprouve trop de résistance à traverser les claies, qui en général sont couvertes de feuilles de mûrier. La disposition qui serait la plus convenable consisterait à diviser la magnanerie par des planchers occupant les espaces qui séparent les piles de claies, et à construire contre les murs latéraux, en face, deux cloisons distantes des murs de $0^m,25$ à $0^m,30$ formées de planches horizontales non jointives ; ces deux cloisons formeraient deux caisses communiquant l'une avec la chambre à air chaud, l'autre avec la cheminée d'appel partant du sol ; les ouvertures latérales étant disposées de manière à pouvoir être réglées afin de rendre la ventilation uniforme dans toute la hau-

teur, il n'y aurait d'autre inconvénient que l'altération de l'air en parcourant chaque rangée horizontale de claies ; mais elle serait faible, car les claies parcourues par le même air seraient seulement au nombre de trois ou quatre. Le calorifère devrait avoir peu de surface de chauffe, parce que la température de l'air de la magnanerie doit être compris entre 16 et 25°, que la température de l'air extérieur est toujours supérieure à 6° et que le volume d'air à introduire par heure est de 800 à 1000 mètres cubes par 100 mètres carrés de claies. La cheminée d'appel devrait avoir un foyer spécial, attendu que la chaleur perdue du calorifère est très-variable et que l'appel doit être constant. Les calorifères à tuyaux horizontaux dont la construction est très-simple, qui sont peu susceptibles de réparation devraient être préférés aux autres ; les dimensions de la cheminée d'appel, et la consommation de combustible se déduiraient facilement de ce que nous avons dit précédemment en supposant que la vitesse effective soit réduite à 1/3 par les frottements. On a employé, il y a quelques années, des ventilateurs à force centrifuge pour produire la ventilation ; mais, comme ces appareils étaient mus par des hommes, le prix du travail était à peu près le même que pour une cheminée : mais leur effet devait toutefois être plus efficace et plus régulier.

CHAPITRE X

Ventilation des mines.

3178. La ventilation des mines est nécessaire pour fournir de l'air aux nombreux ouvriers qui travaillent dans les galeries, et en outre dans les mines de houille pour enlever, à mesure de son dégagement, le gaz hydrogène carboné qui se dégage des filons. Les moyens de ventilation sont de deux espèces : des cheminées dans lesquelles l'air est échauffé par un foyer, et des machines aspirantes de différente nature ; dans tous les cas, les travaux souterrains sont disposés de manière que l'air extérieur descend par un puits spécial jusqu'aux galeries les plus profondes, qu'il parcourt pour se rendre dans un autre puits qui communique avec l'atmosphère, dans lequel, ou à l'extrémité duquel, se trouvent placés les moyens d'aspiration. Presque toujours le courant d'air se divise en plusieurs parties qui parcourent simultanément les travaux des différents étages, et dans

chacun d'eux les galeries ont des directions et des sections si variables, qu'il serait très-difficile de déterminer par le calcul la résistance que l'air doit éprouver pour les parcourir, d'autant plus que les galeries inférieures étant à une température constante, presque toujours supérieure à celle de l'atmosphère, le courant descendant, en s'échauffant, acquiert une force ascensionnelle variable qui s'ajoute aux résistances provenant du frottement et des changements de section et de direction. On peut cependant obtenir une estimation approchée du travail nécessaire à la ventilation, soit par le calcul, soit par la comparaison avec d'autres mines ventilées qui se trouvent dans des conditions analogues. Dans les mines qui ne produisent point de gaz impropre ou nuisible à la respiration, le volume d'air qui doit traverser les travaux doit être au moins de 10 mètres cubes par mineur et par heure; pour les autres, et surtout pour les mines de houille, la ventilation doit être plus considérable en raison du dégagement variable du grisou. Il est bien reconnu actuellement que les plus forts dégagements de ce gaz correspondent à l'abaissement de la pression atmosphérique. Il y a là un indice qu'il ne faut pas négliger si l'on veut rendre la ventilation effective en toute circonstance.

3179. Dans chaque cas particulier, on peut facilement déterminer l'effet utile du mode de ventilation. Supposons par exemple qu'on ait observé la diminution de pression intérieure à l'extrémité du puits de sortie de l'air, et qu'on connaisse le volume d'air appelé par seconde, le travail nécessaire à la ventilation sera ph, p étant le poids de l'air écoulé en une seconde, et h la hauteur d'air correspondant à la pression observée. Supposons ce travail estimé en chevaux-vapeur à raison de 4 kilogrammes de charbon par heure ; l'appel ayant toujours lieu par une certaine consommation de combustible, ou dans une cheminée, ou par un générateur, en retranchant la consommation calculée, on aura la partie de combustible ou de travail résultant des transmissions de mouvement et de la machine elle-même.

Dans un ouvrage de la nature de celui-ci, je ne puis entrer dans les détails du mode de circulation de l'air, de la distribution de l'aérage, du volume d'air nécessaire ; je renvoie pour tous ces objets aux ouvrages spéciaux, qui traitent de l'aérage des mines. J'ai parlé dans le livre IV des différentes machines employées pour la ventilation en général, et des effets produits par des jets de vapeur ; je rapporterai seulement les résultats des expériences faites en 1844, avec beau-

coup de soin, par M. Glépin, ingénieur des mines de houille du Grand-Hornu (Belgique), sur la ventilation directe par des foyers.

Ce mode de ventilation est généralement remplacé par l'emploi de machines aspirantes, ventilateurs divers, etc. ; les expériences que nous rapportons servent à montrer l'avantage de cette substitution que nous avons indiqué dans le livre IV.

Cheminées d'appel élevées au-dessus du sol avec foyer latéral au bas de la cheminée.

3180. Dans le puits n° 11 de la mine du Grand-Hornu, le foyer d'aérage communique avec les puits d'appel par un canal de 10 mètres de longueur; la cheminée a $41^m,74$ de hauteur et $1^m,20$ de section. Dans une première expérience, le volume d'air écoulé par seconde par la partie supérieure de la cheminée était de $1^m,88$ à 74° ; la température de l'air d'accès était de 13° 5 ; celle de l'air extérieur était de 3° ; le foyer brûlait par heure $29^k,7$ de houille *flenu* de qualité inférieure ; et dans le canal qui précédait la cheminée, l'excès de pression de l'atmosphère était de $0^m,012$ d'eau.

En admettant que la puissance calorifique de la houille employée soit de 6 000, l'air a dû être élevé au bas de la cheminée à peu près à 100°, alors la température moyenne de l'air dans la cheminée était de $(100 + 74) : 2 = 87°$. En calculant la vitesse d'accès de l'air à 3° dans la cheminée d'appel au moyen de la formule

$$v = \frac{1}{1+at}\sqrt{2gHa(t-\theta)(1+a\theta)}$$

dans laquelle on a $H = 41^m,74$; $a = 0,00365$; $t = 87°$, $\theta = 3°$; on trouve $v = 13,80$, et pour la charge en air à 13°, $H\ a\ (t - \theta) : (1 + a\theta) = 9^m,71$; et, en eau, $0^m,0126$, ce qui s'accorde très-bien avec l'expérience. Le travail effectif est alors $ph = 1.88$, $1^k,023$ $9,71 = 18^{km},62$, ou, en chevaux-vapeur $18,62 : 75 = 0,24$. Mais la quantité de houille brûlée par heure étant de $29^k,71$, elle correspond à 7,42 en chevaux-vapeur en comptant 4 kilogrammes de houille par cheval; mais l'effet utile est seulement $0,24 : 7,42 = 0,032$ du travail qui pourrait être produit avec la houille consommée. Une autre expérience, faite dans des circonstances différentes, a donné des résultats peu différents. Dans l'ouvrage de M. Glépin, on trouve les résultats obtenus dans d'autres expériences ; mais on ne peut pas les comparer avec le calcul, parce que dans les

unes il n'a pas donné la température au sommet de la cheminée, et que dans les autres le tirage était produit par la cheminée du générateur de la machine d'extraction.

Cheminées intérieures avec foyer à une grande profondeur.

3181. Dans la fosse n° 3 du Grand-Buisson à Hornu, le puits d'écoulement de l'air de ventilation est employé comme cheminée d'appel, et le foyer y verse de l'air chaud à une profondeur de 184 mètres. Le jour des expériences, la température extérieure était de 2° ; celle de l'air intérieur avant d'arriver dans le puits d'appel était de 15°,5 ; celle de l'air sortant à l'extrémité du puits était de 30° ; son volume par seconde était de $6^m,48$, et son poids de $7^k,60$. La consommation de houille par heure était de $29^k,16$, qui correspondent à 7,29 chevaux-vapeur à raison de 4^k par cheval. La section de l'orifice d'accès de l'air froid étant de 5 mètres, la vitesse d'accès était de $1^m,17$, qui correspond à une charge en air à 2°, de $0^m,069$; alors le travail utile ph était de $7,64\ 0,069 = 0^{km},527$; soit $0,527 : 75 = 0,007$ en cheval-vapeur. Pour obtenir le travail nécessaire pour effectuer la ventilation en ayant égard à toutes les résistances, il faudrait connaître la diminution de pression au bas de la cheminée avant l'introduction de l'air chauffé par le foyer ; cette dépression n'a pas été observée, mais on peut la déduire des dimensions de la cheminée et de la température moyenne de l'air dans les puits d'accès et de sortie. En admettant 7 000 pour la puissance calorifique de la houille, on trouve facilement que l'air au bas de la cheminée devait être à 45° 18 ; alors la température moyenne de l'air était sensiblement $(45,18 + 30) : 2$ ou 37°,6 ; dans la cheminée descendante, on peut admettre qu'à la profondeur de 184 mètres, l'air avait pris la température 15°,5 qu'il avait dans les galeries, et qu'il s'est échauffé uniformément ; alors la température moyenne dans ce puits était de $(15,5 + 2) : 2 = 8,75$, et comme les sinuosités des galeries sont sans influence sur le tirage, puisqu'elles renferment de l'air à une température constante, la charge en air à θ, température de l'air d'accès, sera, en faisant $H_1 = H$ dans la formule du n° 548 :

$$\frac{Ha(t-t')}{(1+at')},$$

expression qui, dans le cas dont il s'agit, a pour valeur 16,75 ; le travail nécessaire est égal à $7,64.\ 16,75 = 128$ kilogrammètres, ou, en

cheval-vapeur, à 1,70. D'après cela le travail utile est égal à 0,007, le travail nécessaire à 1,70, et le travail qui pourrait être produit avec le combustible brûlé est égal à 7,29.

Dans la fosse n° 2 du Grand-Buisson, le foyer d'aérage est établi latéralement à une profondeur de 117 mètres, et les gaz provenant de la combustion viennent déboucher dans la cheminée d'appel par un canal incliné à une distance de 103 mètres de la surface. Le jour de l'expérience, le volume d'air sortant par la fosse d'extraction était de $5^{mc},320$ par seconde, à la température 33° ; l'air avant son mélange avec l'air échauffé était à 13°,25 ; la quantité de houille brûlée s'élevait à $23^{k},33$ par heure qui pouvaient chauffer l'air à la température de 43°. Ces observations sont insuffisantes pour qu'on puisse en déduire le travail utile et le travail nécessaire.

Dans la fosse n° 10 du Grand-Hornu, le foyer d'aérage est établi dans l'une des parois du puits à une profondeur de 178 mètres, à l'extrémité d'une petite galerie. Le jour de l'expérience, le volume d'air extrait était de $2^{m},337$ à 27° ; l'air extérieur était à 15° ; l'air avant son arrivée au foyer était à 16°,25 ; la quantité de houille brûlée par heure était de 29 kilogrammes ; en admettant que la puissance calorifique de la houille brûlée soit seulement de 6000 calories, on trouve que l'air aurait dû être porté à 85°. Cette perte énorme de chaleur est attribuée par M. Glépin à l'humidité des parois des puits par les fuites d'eau. On ne peut encore rien déduire de ces observations.

3182. Pour déterminer le travail utile dû à la combustion, on a construit un foyer au bas de la fosse n° 5 du Grand-Hornu, et on a déterminé la charge correspondante à l'écoulement en remplaçant le foyer par un ventilateur de M. Combes produisant le même effet, en mesurant la dépression que produisait l'appel. Le jour de l'expérience, le foyer était placé latéralement au puits d'extraction à la profondeur de 207 mètres. Dans une première expérience, le volume d'air extrait par seconde était de $3^{m},99$ à 25°,75 ; l'air avant son arrivée au foyer était à 19° ; la consommation de combustible était de $16^{k},15$ par heure ; en admettant 7 000 pour la puissance calorifique de la houille, l'air aurait été échauffé de 26° au lieu de 6°,75 ; la dépression produite par le ventilateur produisant le même appel était de $0^{m},013$ en eau à 18°. Cette pression estimée en air à 15°, et sous la pression de $0^{m},757$, est de $10^{m},57$; alors le travail dépensé est de 3,99. 1,187. 10,57 = 50 kilogrammètres, et en cheval-vapeur 50 : 75 = 0,66. Or, le travail qui pourrait être produit par le combustible

consommé étant de 4 chevaux, le rapport du premier nombre au dernier est de 0,165.

CHAPITRE XI

Chauffage des serres.

3183. Les serres destinées à la culture des plantes qui ne peuvent pas supporter la température de l'hiver dans nos climats, ou qui doivent être maintenues constamment à une température supérieure à celle de l'atmosphère, sont toujours closes par de grands vitrages, tantôt à surfaces planes, tantôt à surfaces courbes, qui laissent pénétrer la chaleur solaire, et dans l'intérieur desquels on maintient une certaine température, presque toujours par des tuyaux à eau chaude. L'appareil connu vulgairement sous le nom de *thermosiphon* se compose d'une chaudière généralement en cuivre rouge à fond concave au-dessous duquel se trouve placé le foyer dont la porte est à l'extérieur de la serre. La fumée, après avoir circulé au-dessous, revient assez souvent en avant par un tube intérieur d'où elle aboutit à la cheminée. Les tuyaux d'eau chaude sont généralement en cuivre rouge, parce que ce métal se prête mieux à la confection des divers coudes qu'on est obligé de faire.

La température de l'eau doit être maintenue entre 80 et 90°. Il faut éviter l'ébullition qui produit inutilement de la vapeur, et qui, en diminuant la quantité d'eau renfermée dans la chaudière, expose celle-ci à être brûlée, d'autant mieux que ces appareils sont généralement confiés à des jardiniers souvent fort ignorants sur les soins et les précautions à prendre. Pour obvier à ces inconvénients, on peut employer un appareil fort simple qui empêche d'un côté une ébullition trop vive, et de l'autre le fonctionnement de la chaudière quand elle ne renferme pas assez d'eau. Cet appareil se compose d'un flotteur, plongé dans l'eau ; d'un tuyau vertical, communiquant avec la chaudière. Ce flotteur est attaché à une chaîne qui, après avoir passé sur une poulie, se termine par un contre-poids. Lorsque l'ébullition se produit trop vivement, l'eau, en montant dans le tuyau vertical, fait monter le flotteur et descendre le contre-poids qui appuie alors sur la clef d'un registre placé dans la cheminée et le ferme plus ou moins, de sorte que la combustion diminue. Quand il n'y a pas assez d'eau dans la chaudière, la chaîne du flotteur agit di-

rectement sur le registre de la cheminée et le ferme de manière à empêcher la combustion. Ce petit appareil est destiné à rendre des services.

3184. En 1837, M. Rohault fils a construit les magnifiques serres du Jardin des Plantes ; j'en donnerai une description succincte extraite du bel ouvrage qu'il a publié sur les constructions du Muséum d'histoire naturelle.

« Les serres dominent une longue terrasse coupée dans son milieu par une pente douce, et se composent de deux grands pavillons de 20 mètres de longueur, 12 mètres de largeur et 15 mètres de hauteur, et de galeries à deux étages présentant ensemble un développement de 170 mètres. Chacun des pavillons est vitré sur trois côtés et sur le comble. Le milieu du pavillon de l'ouest est creusé à 2 mètres de profondeur, pour recevoir les caisses des plantes dont le pied est au niveau du sol des allées intérieures. Ce pavillon renferme les palmiers et les plantes tropicales qui exigent le plus de chaleur : la température ne doit jamais descendre au-dessous de 15°. Une bâche au-dessus du sol a été disposée près du mur du fond pour recevoir les plantes grimpantes qui s'élèvent le long d'un grillage en fer. A la moitié de la hauteur de ce mur, un balcon règne dans toute la longueur. Les galeries à deux étages sont adossées à un mur qui les préserve des vents du nord. Des orifices d'accès de l'air extérieur sont ménagés près du sol de la galerie inférieure. Les galeries du rez-de-chaussée sont divisées en cinq parties, celle du premier étage en trois parties par des cloisons de verre qui permettent de classer les plantes d'après le degré de chaleur et d'humidité qui leur convient. Quelques divisions contiennent des bâches au-dessus du sol, d'autres des bâches enterrées, d'autres des gradins en fer qui rapprochent les planches des vitrages. Des bassins sont disposés dans chacune de ces divisions, et de petits tuyaux percés de trous capillaires y versent une pluie artificielle.

3185. « Il fallait chauffer également dans toutes les parties les deux grands pavillons et les deux rangées de serres à châssis courbes, contenant ensemble un volume d'air de 9000 mètres cubes, et dont les parois en verre n'offraient qu'un très-faible obstacle à la répartition de la chaleur. La température d'un des pavillons et celle des serres courbes devait être en tous temps, et quelle que fût celle du dehors, à plus de 15°. L'autre pavillon, destiné à une serre tempérée, n'exigeait que 5°.

3186. « Plusieurs moyens se présentaient pour obtenir ces résul-

tats : la circulation de la fumée, comme dans toutes les anciennes serres ; la circulation de l'eau chaude, comme dans la plupart des serres anglaises ; la vapeur, comme dans la grande serre de Loddiges près de Londres, et enfin l'air chaud émis par les calorifères, moyen puissant qui est employé à la Chambre des députés. Nous avions eu d'abord l'idée d'employer l'eau chaude mise en circulation ; mais on craignit que les grandes distances qu'elle aurait à parcourir ne ralentissent le service. Les serres du Muséum ne pouvant, quant aux dimensions, être comparées qu'à celles de Loddiges, qui cependant sont moins grandes, on jugea plus prudent d'adopter le système qui y réussit depuis dix-huit ans. La vapeur a donc été employée pour le chauffage permanent, et l'air chaud pour un chauffage supplémentaire, qui ne doit agir que dans les grands froids, parce qu'à cette époque il est important de renouveler l'air sans ouvrir aucun des châssis extérieurs.

« Trois calorifères et deux chaudières à vapeur servent à la production de la chaleur. Les calorifères sont disposés dans une cave qui est située derrière le pavillon de l'ouest. L'air arrive froid près du sol, s'échauffe en parcourant des tuyaux de fonte enveloppés par la flamme du foyer, s'élève dans la partie supérieure de la cave et arrive abondamment dans les serres près des vitrages à une température d'environ 50°. Le courant d'air chaud est déterminé par un appel qui est produit par les foyers et les cheminées des fourneaux. L'air, avant d'entrer dans les serres, passe au-dessus d'un bassin d'eau chaude, dont il se sature, et n'a pas ainsi les inconvénients du chauffage par les poêles qui dessèchent les plantes en échauffant l'air sans le renouveler.

3187. « Les deux chaudières sont placées au rez-de-chaussée, au-dessus des calorifères. La vapeur est conduite par des tuyaux en cuivre dans des chauffeurs en fonte disposés de manière à porter la température de chacune des serres au degré qui leur convient. Les pentes des tuyaux ont été calculées pour ramener à la chaudière l'eau de condensation, sans nuire à la circulation de la vapeur, et les effets de la dilatation ont été corrigés par des appareils simples, qui facilitent le mouvement des tuyaux supportés dans leur longueur par des galets mobiles.

« Dans le grand pavillon de l'ouest, quatre tuyaux de $0^m,10$ de diamètre, disposés sous un chemin en fonte près du vitrage au midi, et seize autres semblables le long des parois de la bâche du milieu, servent de condensateurs, et développent tout le calorique

nécessaire à un vaisseau d'un volume de 3000 mètres cubes qui est placé dans les circonstances les plus défavorables pour la conservation de la chaleur. Les galeries des serres à châssis courbes du rez-de-chaussée sont chauffées par quatre tuyaux de fonte, et celles du premier étage par deux tuyaux seulement ; les besoins du service ayant exigé que la température de celle-ci fût moins élevée, et l'équilibre de température pouvant d'ailleurs être facilement établi en ouvrant les communications pratiquées entre les deux étages.

3188. « Ce chauffage a eu un plein succès, et l'on est parvenu à maintenir le thermomètre à 33° au-dessus de la température extérieure, ce qui est plus que suffisant pour garantir les plantes des froids les plus rigoureux. Nous avons cherché à imiter autant que possible les modifications que la nature apporte aux climats, en ajoutant à ces moyens de chauffage un appareil destiné à produire une pluie artificielle, et un système de rideaux mobiles qui servent à garantir les plantes des coups de soleil, que l'interposition des verres rend souvent nuisible. Les appareils pour le chauffage ont été exécutés par M. Talabot. »

3189. Le jardin d'hiver construit dans le parc du château royal de Laeken (Belgique) comprend un jardin d'hiver proprement dit A et une orangerie B (fig. 702).

La superficie totale occupée par le jardin d'hiver et l'orangerie est d'environ 4500 ^{mq}, le cube total d'environ 50000 mètres, soit à peu près le double des grandes serres de Kiew, près Londres.

3190. On a employé, pour chauffer le jardin d'hiver, un système mixte qui permet l'emploi simultané d'appareils à eau chaude et d'appareils à air chaud humidifié.

3191. Tous les appareils de chauffage sont placés dans une cave située sous l'aile qui relie le jardin d'hiver A à l'orangerie B. Deux chaudières à fonctionnement méthodique, placées en C, alimentent des canalisations qui circulent dans le jardin d'hiver dans des caniveaux recouverts de grilles c', c', formant le pourtour du jardin. Dans l'orangerie les tuyaux circulent au-dessus du sol.

Comme il était indispensable de réduire le plus possible la surface des caniveaux recouverts de grilles pour ne pas gêner la circulation, car le jardin d'hiver est destiné à servir de salle de fêtes, on a dû employer des tuyaux de forme ovale munis de nervures, pour multiplier la surface de chauffe, en même temps qu'on a disposé des prises d'air D, au bas des marches de la rotonde centrale, lesquelles amènent l'air froid du jardin à la partie basse du caniveau. Grâce à

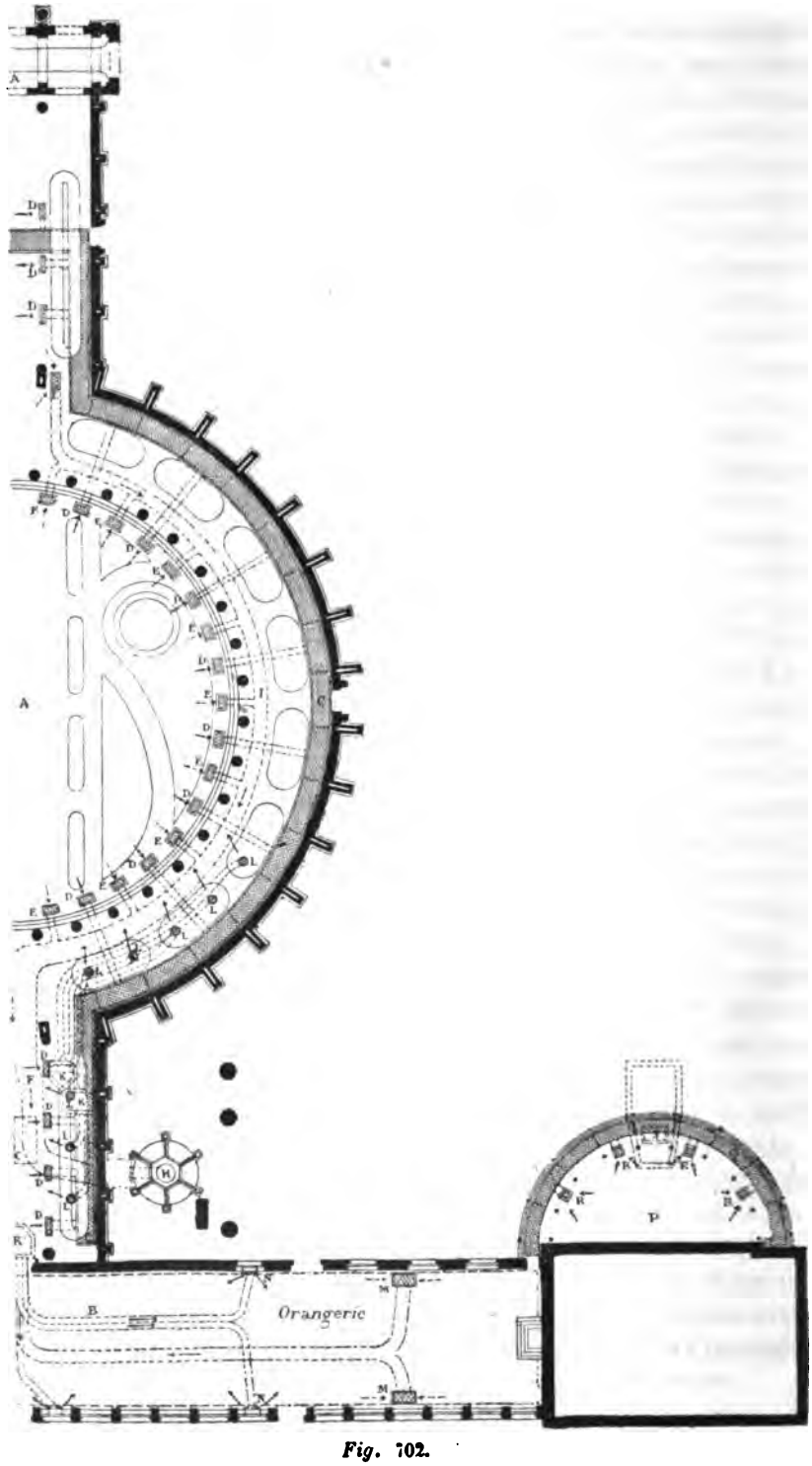


Fig. 702.

ces dispositions, très-simples d'ailleurs, les tuyaux, bien que placés en contre-bas du sol, donnent le rendement calorifique maximum exactement comme s'ils étaient placés d'une manière apparente dans la serre.

3192. Les appareils à air chaud saturé, destinés à fournir l'appoint de chaleur nécessaire par les grands froids, en même temps qu'à faire face aux brusques variations de la température extérieure, sont placés en cave en K, K ; ils desservent de véritables poêles placés verticalement dans le promenoir circulaire ; les orifices d'émission d'air sont à environ 3 mètres du sol pour que l'air ne vienne pas frapper sur les fleurs placées sur des gradins à $1^m,50$ du sol.

3193. Des bouches d'évacuation de l'air vicié sont également placées au bas des marches du promenoir circulaire en E ; elles communiquent toutes avec les deux collecteurs F, F qui viennent déboucher à la base de deux cheminées-phares H, placées à droite et à gauche de la cave où sont les appareils.

3194. L'orangerie peut, elle-même, être chauffée exceptionnellement au moyen d'un calorifère à air chaud K′ qui est alimenté par l'air même de l'orangerie pris sur le sol en MM et ramené, après avoir été échauffé, à des espèces de poêles N, N d'où il retourne dans la salle.

3195. Dans l'orangerie, comme dans le jardin d'hiver, les calorifères à air chaud ne fonctionnent que lorsque la température extérieure est descendue au-dessous de — 5°.

3196. La ventilation du jardin d'hiver ne fonctionne que dans le cas des fêtes ou réunions.

3197. Le chauffage à eau chaude est effectué au moyen de deux chaudières de $7^m,50$ de longueur sur $0^m,80$ de diamètre ; chacune d'elles est munie d'une batterie de quatre réchauffeurs ayant chacun $7^m,50$ de longueur sur $0^m,50$ de diamètre, fournissant au total une surface de chauffe de 108^{mq} environ.

Les tuyaux d'eau chaude ont un peu plus de 1^{mq} de surface de chauffe par mètre courant, ont une longueur de 1150 mètres, et par suite, une surface de 1200^{mq} dans la grande serre ; dans l'orangerie, la longueur des tuyaux est de 210 mètres, soit 220^{mq} de surface de chauffe.

3198. Les petites serres P sont chauffées chacune au moyen d'une petite chaudière donnant issue à des tuyaux placés dans un caniveau demi-circulaire recouvert de grilles ; une circulation d'air se

fait autour des tuyaux; l'air est pris par des bouches à fleur de sol en R, arrive autour du tuyau et ressort par la grille Q.

3199. Lors des expériences qui ont été faites pendant les derniers jours froids de l'hiver 1876-1877, on a constaté dans le jardin d'hiver une température de 15° alors que la température extérieure était de —5°; dans ces expériences les appareils à eau chaude étaient seuls mis en feu, et les appareils à air chaud, dont la puissance est égale à celle des appareils à eau chaude, n'ont pas été allumés une seule fois; la vitrerie du jardin d'hiver laissait encore beaucoup à désirer.

3200. Dans l'orangerie, les résultats ont été aussi satisfaisants que dans le jardin d'hiver; on a maintenu une température constante de 8 à 10° centigrades, les vannes étant presque complétement fermées.

3201. Les appareils, tels qu'ils sont installés, permettent donc d'obtenir dans la serre et l'orangerie un excès de température de 30 à 35° sur la température extérieure, ce qui est suffisant dans tous les cas pour parer à toutes les variations de température qui peuvent se produire dans nos climats.

3202. La consommation en combustible a été en moyenne pendant l'hiver 1876-1877 de 1000 kilogrammes de houille par jour.

CHAPITRE XII

Ventilation des navires.

3203. Cette ventilation, rarement effectuée, présente cependant une importance et une utilité considérables; tous ceux qui ont éprouvé le mal de mer savent combien les souffrances sont augmentées lorsqu'on passe de l'air libre à l'intérieur du navire; on soulagerait donc considérablement les malades si on leur fournissait de l'air frais en quantité suffisante; c'est surtout pour les navires d'émigrants que cette ventilation serait nécessaire; là, indépendamment des causes particulières de malaise dues à la navigation, se rencontrent toutes les causes de viciation de l'air dues à l'encombrement; il en est de même dans le cas de transports de troupes, etc.

3204. La ventilation, toujours facile à bord des navires à vapeur, peut se produire de deux façons différentes : 1° par appel en employant la chaleur perdue de la cheminée ou en employant un ou plusieurs foyers spéciaux destinés à augmenter ou à produire com-

plétement l'appel suivant les besoins; 2° par pulsion et au moyen de ventilateurs mis en action par la machine du navire ou par une petite machine spéciale.

3205. Le général Morin donne dans son manuel du chauffage et de la ventilation la description de la ventilation par appel du navire *le Calvados*, transport-écurie, établie par M. Bertin, ingénieur de la marine; au fond des stalles se trouvent des ouvertures pratiquées dans la paroi du navire et qui communiquent avec le vide que laisse la membrure; ce vide est en communication avec un canal pratiqué longitudinalement de chaque côté du navire dans la cale et qui se rend dans une chambre munie de foyers d'appel; cette chambre se prolonge verticalement par une enveloppe cylindrique qui entoure la cheminée; l'espace annulaire qu'elle laisse entre elle et la cheminée sert de cheminée d'appel; d'après les expériences faites à Cherbourg, pour une consommation variant de 20 à 40 kilogrammes par heure, on obtenait un excès de température dans la cheminée d'appel, sur la température extérieure, variant de 14°,4 à 18°,8 et le volume d'air évacué variait de 27 750 mètres cubes à 35 353 mètres cubes par heure, soit une évacuation variant de 1 387 mètres cubes à 884 mètres cubes par kilogramme de charbon brûlé.

3206. Nous trouvons un exemple du second procédé dans la ventilation des cabines et dortoirs du steamer *Germania*, décrite dans l'*Engeneer* de juin 1875, page 419. La ventilation est effectuée par une soufflerie rotatoire de Root, établie sur le pont du navire et mise en mouvement par deux machines de Brotherhood et Hardingham; à chaque extrémité de l'arbre de la soufflerie est attelée une de ces machines; la soufflerie fournit 115 mètres cubes d'air par minute; des conduites de tuyaux dirigent l'air dans chaque chambre.

3207. On trouve dans la *Revue des sciences médicale*, tom. X, une traduction d'un mémoire de M. Hugo Senftleben sur la ventilation dans la marine marchande, dans lequel sont exposés les procédés les plus généralement employés et les conditions auxquelles ils doivent satisfaire. L'auteur indique comme condition indispensable que l'air impur qui s'échappe ne se mêle pas à l'air frais qui afflue du dehors; cet inconvénient, dit-il, est inévitable dans le système fondé exclusivement sur la pulsion. Il y a dans cette dernière affirmation une erreur manifeste, le mélange sera en effet absolument impossible si des orifices et des canaux de sortie de l'air de section suffisante ont été ménagés. L'auteur reproche encore

au système de la pulsion d'introduire dans les cabines de l'air froid qui peut être dangereux pour les voyageurs. C'est là une supposition toute gratuite, il est évident que la pulsion se prête aussi bien que l'appel à l'échauffement préalable de l'air de ventilation, il suffit pour cela de disposer le canal d'introduction autour de la cheminée de la machine ou mieux de chauffer directement l'air au moyen d'un poêle à vapeur à tuyaux alimenté par la vapeur de la machine. Ajoutons que la pulsion se prête d'une façon bien plus efficace que l'appel à la bonne répartition de l'air neuf en tous les points ventilés.

On trouve dans ce mémoire quelques détails sur une pompe à eau et à mercure servant à produire automatiquement l'assèchement et la ventilation de la cale des navires à voile ; cet appareil inventé par M. Thier et employé aux États-Unis fonctionne sous l'influence du roulis du bâtiment par le déplacement alternatif de l'eau et du mercure disposés dans des compartiments fermés placés aux extrémités du diamètre transversal du navire.

CHAPITRE XIII

Rafraîchissement des ateliers.

3208. Nous avons indiqué (2279 et 2280) différents procédés permettant de rafraîchir l'air avant son introduction dans un espace quelconque. Cette introduction étant déterminée soit par appel, au moyen d'une cheminée munie d'un foyer, soit par pulsion, au moyen d'un ventilateur ou de tout autre appareil ventilant. Nous avons exposé à propos de la ventilation des filatures des procédés analogues (3152 et suivants). Ces procédés qui sont basés sur l'emploi de l'eau froide ne peuvent guère être employés efficacement qu'autant que le rafraîchissement à produire est peu considérable, et qu'on a de l'eau froide en abondance.

3209. Lorsqu'il s'agit, au contraire, de refroidissements considérables, et lorsqu'on n'a qu'une quantité insuffisante d'eau, ou que l'eau que l'on a à sa disposition n'est pas assez froide, on peut avoir recours aux procédés que nous avons indiqués livre XIV, chapitre IV, pour la production artificielle du froid ; nous avons décrit (2333) les moyens employés pour obtenir ce résultat à bord du *Frigorifique*. Nous citerons encore une application fort intéressante des mêmes principes faite par MM. Mignon et Rouart pour le refroidissement de

la manufacture royale de bougies à Amsterdam. Ce bâtiment a 50 mètres de longueur, 14^{m},50 de largeur et 4^{m},20 de hauteur, son volume est de 3 050 mètres cubes environ ; dans ce bâtiment on introduit des huiles à la température de 60°, au sein desquelles doit se produire une cristallisation d'acide stéarique ; la quantité d'huile traitée est de 15 000 kilogrammes par jour. Il s'agissait de maintenir dans l'atelier une température de 12°, même pendant les grandes chaleurs de l'été. Pour y arriver, MM. Mignon et Rouart ont employé un de leurs appareils (2325), produisant 60 000 calories négatives à l'heure ; l'air était introduit par pulsion, au moyen d'un ventilateur fournissant 20 000 mètres cubes à l'heure, dans un appareil refroidisseur, ou l'échange de chaleur se faisait entre l'air et une dissolution de chlorure de calcium refroidie par son passage à travers l'appareil frigorifique. Pour obtenir un échange rapide de la chaleur, il fallait multiplier les surfaces de contact entre l'air et le liquide ; pour cela, on a disposé un cylindre vertical isolé autant que possible pour parer au réchauffement et divisé en compartiments par des diaphragmes fixés au cylindre et percés en leur centre ; le cylindre est traversé par un axe qui porte des disques horizontaux ; il y a un de ces disques dans chacun des compartiments du cylindre ; on fait arriver le liquide à la partie supérieure du cylindre et l'air en bas, de façon à avoir un refroidissement méthodique ; le liquide est divisé et par son écoulement sur les diaphragmes montés sur le cylindre et sur les disques montés sur l'axe, et par le mouvement de rotation de l'axe dont l'action centrifuge rejette le liquide des disques vers les parois. La température de l'air se trouve abaissée de 10° dans cet appareil.

3210. Nous ne parlerons que pour mémoire de moyens divers qui peuvent être employés éventuellement pour obtenir un faible abaissement ou un abaissement passager de la température. M. Freycinet cite, dans son rapport, l'arrosage du toit et des murs d'ateliers de la filature de Brunswick Mill à Manchester au moyen de jets d'eau placés dans la cour et qu'on peut mettre en activité en ouvrant un robinet ; il paraît qu'on obtient aussi un rafraîchissement sensible, mais qui n'a pas été mesuré.

3211. M. le général Morin, dans une note placée à la fin de son Manuel de chauffage et de la ventilation, insiste fortement sur l'emploi d'un moyen qui consisterait à faire passer l'air, avant son introduction dans les salles à rafraîchir, à travers des puits, des caves ou des galeries, pratiqués sous le sol. S'appuyant sur ce que la tempé-

rature du sol à quelques mètres de profondeur est généralement égale à peu près à la température moyenne du lieu, à Paris, par exemple, 11° environ, et supposant que l'air qui les aura traversés prendra cette température de 11° d'une façon permanente, il donne un exemple des calculs à faire pour déterminer la quantité d'air nécessaire à produire un refroidissement donné. Il cite de plus quelques exemples d'un rafraîchissement obtenu par ces procédés, entre autres, le cabinet de la direction du Conservatoire des Arts et Métiers refroidi par l'introduction de l'air des caves du Conservatoire à raison de 500 ou 600 mètres cubes à l'heure, et le laboratoire de M. H. Deville qui emprunte l'air aux caves de l'École normale.

3212. Sans dénier absolument une efficacité quelconque à ce procédé, il nous sera permis de mettre en garde ceux qui seraient tentés de l'employer contre les insuccès auxquels il pourrait mener ; si, en effet, on peut obtenir le rafraîchissement continu de faibles espaces lorsqu'on dispose de caves considérables comme celles du Conservatoire ou celles de l'École normale, ou si avec des caves d'étendue relativement restreinte on pourra encore espérer quelque rafraîchissement de l'air lorsqu'on n'aura à le produire que pendant une partie très-limitée de la journée, il n'est pas moins vrai que dans le cas d'espaces un peu considérables à rafraîchir, et quand le rafraîchissement devra être continu, l'action des caves aura bientôt cessé de se faire sentir parce que les parois se mettront en équilibre de température avec l'air ambiant au bout de très-peu de jours. La solution présentée par le général Morin, si elle pouvait être généralisée, permettrait de se passer du chauffage en hiver et de se rafraîchir en été en se maintenant à une température constante, sans autre dépense que celle de quelques becs de gaz, cette solution serait certainement séduisante si elle était réalisable ; mais il n'en est pas ainsi et elle doit être limitée aux cas très-spéciaux que nous avons indiqués.

CHAPITRE XIV

Examen résumé des conditions de la ventilation des lieux habités.

3213. *Proportion d'air à fournir dans le cas d'une ventilation continue.* — Cette proportion est éminemment variable suivant la nature des lieux à ventiler et suivant la façon même dont la ventilation

est effectuée. Elle ne sera pas la même non plus si les lieux ventilés sont habités par des hommes valides ou malades. Si l'on considère l'individu à l'état de santé, il exhale par la respiration pulmonaire et cutanée de l'acide carbonique et de la vapeur d'eau, plus une certaine quantité très-faible de substances organiques dont la présence se révèle par l'odeur qui se manifeste dans les lieux confinés après un certain temps qu'on y a respiré.

3214. L'air qu'on doit fournir à la respiration doit être le plus pur possible, de là la nécessité d'évacuer l'air vicié. Mais, quelque active que soit la ventilation, les produits de la respiration se mêlent à l'air ambiant et le premier problème à résoudre consisterait à déterminer la proportion limite de l'acide carbonique, de la vapeur d'eau et des autres produits de la respiration dans l'air respirable. En ce qui concerne l'acide carbonique et la vapeur d'eau, s'ils étaient seuls, on pourrait arriver pour le premier à une proportion de quelques centièmes, pour la seconde à la saturation, sans qu'il en résultât d'inconvénients sérieux ; mais ces gaz sont, comme nous l'avons dit, accompagnés de matières organiques qui fermentent et s'altèrent d'autant plus rapidement que la température de la salle est plus élevée, et c'est là surtout l'élément dont il y a lieu de tenir compte, et c'est aussi celui sur lequel on n'a aucune donnée précise. La proportion d'acide carbonique qui accompagne toujours celle des matières organiques et qui doit lui être sensiblement proportionnelle, si l'on considère des individus à l'état sain, pourra être prise pour mesure de celles-ci, et on pourra déterminer une limite de la quantité d'acide carbonique que l'on ne devra pas dépasser dans l'air respirable ; mais, ici encore, il y aura lieu de distinguer suivant que la salle sera ou non ventilée ; la fermentation et l'altération des matières organiques est non-seulement une question de température, mais encore une question de temps, et si l'on suppose une salle sans ventilation dans laquelle, par un séjour plus ou moins prolongé, l'air arrive à obtenir cette limite, l'air qu'on y respirera après une longue durée de séjour sera certainement plus malsain que celui d'une salle plus petite, mais ventilée, dans laquelle le renouvellement de l'air convenablement effectué n'aura laissé séjourner les miasmes que pendant un temps relativement court ; disons qu'il y a là un élément dont il est à peu près impossible de tenir compte, mais qui suffit pour montrer que la limite à laquelle on peut s'élever dans le cas d'une ventilation active est plus élevée que celle qu'on doit prendre dans le cas d'une salle non ventilée. A cet égard, il est ce-

pendant un moyen qui peut servir de guide ; c'est l'odeur que prend l'air dans une salle où ont séjourné une ou plusieurs personnes après un certain temps ; il est important de ne pas laisser produire cette odeur. Or la quantité d'acide carbonique pour laquelle cette odeur se produit est variable avec les conditions de l'observation ; ainsi, d'après M. de Chaumont, cette odeur se produirait lorsque la proportion d'acide carbonique dans l'air est de 0,0008 en volume, M. Pettenkofer, et avec lui M. Lenz, de Saint-Pétersbourg, admet qu'on peut aller sans inconvénients jusqu'à 0,001 ; bon nombre d'ingénieurs et d'hygiénistes admettent même qu'on pourrait porter cette proportion au delà ; mais il n'est pas douteux que dans des lieux ventilés on puisse prendre la limite de 0,001 en volume. Or, l'air contient à l'état normal de 0,0004 à 0,0006 en poids d'acide carbonique, soit de 0,0003 à 0,0004 en volume ; MM. Boussingault et Lewy ont trouvé pour l'air de Paris 3,190 sur 10 000 volumes, et à Andilly près Montmorency 2,989 on peut donc admettre comme proportion permanente dans les villes 3 pour 10 000 en volumes ; ces nombres permettent de calculer avec la plus grande facilité la quantité d'air à fournir dans le cas d'une ventilation permanente, si l'on connaît d'ailleurs la quantité d'acide carbonique qui peut être produite par un homme adulte dans un temps donné. Or, d'après M. Dumas (*Essai de statique chimique des êtres organisés*), le nombre des expirations étant de 16 à 17 par minute, chacune de un tiers de litre environ, et la proportion d'acide carbonique dans cet air étant de 0,04 environ (1), la production d'acide carbonique serait de 306 litres par vingt-quatre heures, soit 13 litres environ par heure ou $0^{mc},013$. A l'état permanent, par conséquent, la ventilation devra être telle que, l'air entrant avec 0,0003 d'acide carbonique et sortant avec 0,001 de ce même gaz enlève $0^{mc},013$ de ce produit par heure et par homme ; chaque mètre cube enlevant 0,0007 ; le volume d'air à introduire par homme et par heure sera de $\frac{0,013}{0,0007} = 18^{mc},5$ soit 19 mètres cubes ; si on admet avec MM. Andral et Gavarret que la production d'acide carbonique d'un homme adulte est de $0^{m},020$ par heure, le volume d'air à introduire sera $\frac{0,020}{0,0007} = 28^{mc},6$.

3215. Dans un mémoire présenté à l'Académie des sciences le

(1) Doyère, dans son mémoire sur la respiration et la chaleur humaine dans le choléra donne, pour la composition de l'air expiré à l'état normal, la proportion de 0,0044 d'acide carbonique ; si l'on en retranche les 0,0003 que contenait l'air impur, il reste 0,0041.

4 avril 1873, le général Morin arrive à des nombres beaucoup plus élevés, mais cela tient à certaines différences entre les nombres admis par ce savant et ceux que nous avons admis nous-mêmes; le général Morin admet bien une production d'acide carbonique de $0^{mc},020$, comme l'indiquent MM. Andral et Gavarret, mais il y ajoute, et on ne sait trop pourquoi, une proportion d'eau de $0^{m},0123$ qu'il considère comme acide carbonique à évacuer. La seconde différence est dans la proportion d'acide carbonique existant dans l'air, cette proportion, d'après M. Morin, devrait être prise égale à 0,0005 en volume, nous avons vu que d'après M. Boussingault, vérifiant les expériences de Thenard et de Théodore de Saussure, cette proportion serait de 0,003 seulement. Nous ferons encore une autre observation relative au résultat que nous avons obtenu, c'est qu'il est indépendant de l'espace cubique attribuable à chaque personne, ce qui est évident *à priori;* M. Morin arrive au contraire à des nombres qui dépendent de l'espace cubique occupé ; c'est qu'en effet, il ne considère pas la ventilation à l'état de régime permanent, mais bien pendant la première heure seulement, de telle sorte que les résultats seraient modifiés, si la ventilation se prolongeait et fournissait à la limite les résultats du régime permanent; si l'on voulait tenir compte du temps que dure la ventilation, il faudrait faire le calcul, non pas comme l'a fait le général Morin, mais bien comme le présente M. Lenz dans sa considération sur la ventilation en Russie (*Mémoire de l'Académie Impériale de Saint-Pétersbourg*, série VII, tome VI); on arrive alors à la formule suivante fournie par M. Lenz :

$$p = \frac{\mu_0}{e^{\theta \frac{v}{V}}} + \frac{\mu v + nq}{v} \left(1 - \frac{1}{e_{\theta \frac{v}{V}}}\right)$$

Formule dans laquelle :

μ représente la proportion d'acide carbonique en volume que contient l'air introduit,

p la proportion du même gaz que contient l'air expulsé,

V le volume de la salle ventilée,

v le volume d'air frais introduit par heure,

n le nombre d'hommes qui sont dans la salle,

q le volume d'acide carbonique exhalé par chaque homme en une heure,

μ_0 la proportion d'acide carbonique en volume que contient l'air de la salle avant le commencement de la ventilation,

θ le nombre d'heures qu'a duré la ventilation.

C'est de cette formule qu'on devra tirer v quand la limite p sera donnée et la quantité d'air à fournir par homme et par heure sera $\frac{v}{p}$

Il est facile de voir que la valeur de p tend vers une limite fort simple quand θ tend vers l'infini, et cette limite est fournie par l'expression,

$$p = \frac{\mu v + nq}{v}$$

ce qui donne

$$(p - \mu)v = nq.$$

d'où

$$\frac{v}{n} = \frac{q}{p - \mu}$$

pour l'état de régime, comme nous l'avons indiqué plus haut.

M. Lenz, en adoptant le nombre $0^{mc},024$ pour quantité d'acide carbonique produite par heure (nombre trop fort d'après ce que nous avons dit plus haut), et 0,001 pour limite supérieure de la quantité d'acide carbonique que doit renfermer l'air de la salle, arrive à 30 mètres cubes comme volume d'air pouvant fournir à l'état permanent un état voisin de cette limite.

3216. Quand on considère l'influence de la vapeur d'eau, il est facile de concevoir que dans tous les cas où l'air sera chauffé avant son introduction dans la pièce, non-seulement il sera facile d'enlever toute la vapeur d'eau résultant de la respiration sans dépasser la fraction de saturation convenable, mais encore il faudra le plus souvent ajouter de l'eau à cet air avant son entrée dans la salle pour arriver à cette fraction de saturation. Ce poids sera facile à calculer pour une ventilation permanente ; en effet, soit p le poids en grammes de vapeur d'eau qui se trouve dans un mètre cube de l'air extérieur, et soit p' le poids de vapeur d'eau que doit contenir l'air à la température de la pièce ventilée pour que la fraction de saturation soit environ 0,50, et soit v le volume d'air introduit par personne et par heure, la quantité d'eau qu'il faudra fournir par personne et par heure sera $(p' - p)\ v - 50$; ce dernier chiffre 50 représentant le poids de vapeur d'eau que fournit par la respiration chaque personne en une heure. En été, si l'on suppose une introduction de 30 mètres cubes par personne et par heure ; la quantité de

vapeur d'eau produite par personne aussi bien par la transpiration pulmonaire que par la transpiration cutanée étant, d'après M. Barral, de 50 grammes environ par heure, ce qui correspond à peu près à $0^{mc},06$, le poids de vapeur dont se chargera chaque mètre cube d'air, sera de $50 : 30 = 1^{gr},67$, et comme le poids d'eau qui sature un mètre cube d'air à 20° est de $17^{gr},21$, si on suppose qu'avant son entrée, la fraction de saturation soit 0,50 ; celle-ci se trouvera dans la salle égale à $0,50 + 1,67 : 17,21 = 0,60$ environ, condition parfaitement tolérable ; il en serait encore de même si l'air était à 15°, car alors le poids d'air qui sature un mètre cube étant 12,76 la fraction de saturation serait $0,50 + 1,67 : 12,76 = 0,63$, ce qui n'aurait encore rien d'exagéré.

3217. On voit donc que, aussi bien au point de vue de l'eau que de celui de l'acide carbonique à évacuer, 30 mètres cubes d'air par homme et par heure, seront complétement suffisants pour assurer des conditions hygiéniques convenables à l'homme adulte et sain.

3218. A propos de la vapeur d'eau produite, M. le général Morin, dans le mémoire cité plus haut, examinant des résultats d'expériences de M. Leblanc dans différentes casernes non ventilées, constate que la quantité de vapeur d'eau renfermée après un séjour de dix heures des hommes dans les chambrées était de $0^{m},0123$ à 15°. Ce nombre, dit-il, est notablement inférieur à celui de $0^{m},0433$, trouvé par M. Dumas, la différence doit être attribuée à ce qu'une partie de la vapeur dégagée se condensait sur les murs et le volume de $0^{mc},0123$ peut être regardé comme celui qu'il faudrait évacuer par heure au moyen d'une ventilation continue. Nous avons vu que, dans tous les cas, la ventilation qui ramène à la limite convenable la quantité d'acide carbonique que contient l'air, enlève aussi toute la vapeur d'eau et maintient l'air à une distance assez éloignée du point de saturation pour qu'on n'ait pas à se préoccuper de la vapeur d'eau ; mais s'il n'en était pas ainsi, il faudrait considérer l'opinion émise par le général Morin comme tout à fait erronée ; en effet, il est de la plus haute importance d'empêcher toute condensation d'eau sur les murailles ; cette eau, en effet, se dépose en entraînant une certaine portion des matières organiques que contient l'air ; ces matières peuvent alors imprégner les murs et y créer de véritables foyers d'infection.

Quant à la question de l'espace cubique réservé à chaque personne dans la salle ventilée, nous avons vu qu'il n'y a aucune raison pour lui donner des dimensions exagérées ; dans une certaine mesure, il

y a plutôt intérêt à la restreindre pour ne pas permettre aux matières organiques provenant de la respiration de se décomposer.

3219. Dans tous les lieux où séjourneront des hommes en état de santé, comme les *amphithéâtres*, les *salles d'assemblée*, les *théâtres*, les *ateliers* où il n'y aura pas de conditions spéciales de viciation de l'air, les *prisons* même, une ventilation effective de 30 mètres cubes par homme et par heure sera suffisante dans tous les cas.

3220. Dans les *écoles d'enfants* et les *asiles*, ainsi que dans les lycées et en général dans tous les lieux occupés par des enfants, la respiration fournit des gaz étrangers en quantité notablement moindre, et on peut alors se contenter d'un renouvellement d'air de 12 à 15 mètres cubes par enfant et par heure.

3221. Quand des causes spéciales d'insalubrité viennent s'ajouter à celles qui résultent de la respiration pulmonaire et cutanée, il est nécessaire d'augmenter la quantité d'air de ventilation, dans ce cas aucune donnée ne permet d'établir exactement ce que doit être cette augmentation et c'est ainsi que l'expérience a amené à employer des volumes d'air de plus en plus considérables pour la *ventilation des hôpitaux*, c'est ainsi, comme nous l'avons vu précédemment, qu'à l'hôpital Ménilmontant, la ventilation a été établie pour fournir :

Aux malades ordinaires.....	100$^{mc.}$
Aux varioleux.....	200$^{mc.}$
Aux femmes en couches.....	300$^{mc.}$

3222. Parmi les causes spéciales d'insalubrité auxquelles il faut parer par la ventilation, peuvent se trouver des dégagements ou productions de gaz divers ; tels sont, l'acide sulfhydrique et l'ammoniaque dans les étables. M. le général Morin, en considérant les valeurs différentes des densités de ce gaz, arrive à conclure que dans une étable l'ammoniaque se tiendra à la partie supérieure, l'acide carbonique et l'acide sulfhydrique à la partie inférieure (*Études sur la ventilation*, tome I, page 205). Il y a lieu de s'étonner de rencontrer une pareille opinion chez un savant aussi distingué que le général Morin, lorsqu'on sait la facilité avec laquelle les gaz se mélangent ; que quelques bulles d'ammoniaque, d'acide sulfhydrique, d'acide sulfureux soient dégagées dans un amphithéâtre ou dans un laboratoire, et presque instantanément leur odeur se fait sentir dans tous les points de la salle ; dans le cas cité, celui des étables, le dégagement se fait avec une extrême lenteur et sous l'influence d'une

fermentation qui, en élevant la température, rompt l'équilibre de la masse gazeuse et facilite le mélange.

3223. Quand le dégagement de gaz se fait sur un point donné et en grande masse, c'est surtout au voisinage de ce dégagement qu'on trouve la plus forte proportion de ce gaz, alors que la diffusion dans l'air n'a pas encore pu s'établir. C'est là la raison d'un certain nombre de phénomènes naturels curieux qui fournissent en même temps la démonstration du principe énoncé. Tout le monde connaît le fait de la grotte du Chien, à Pouzzoles, dans laquelle se dégage, à travers le sol et en petites bulles, de l'acide carbonique qui s'étend en une nappe asphyxiante ayant, à l'entrée de la grotte $0^m,20$ au-dessus du sol, et au fond $0^m,60$; au-dessus de cette nappe se trouve de l'air respirable.

Non loin de la grotte du Chien se trouve la grotte d'Ammoniaque (*Guide pratique aux eaux minérales du Dr James*) qui est une fosse à peu près carrée d'un mètre de profondeur, recouverte d'une voûte de $3^m,00$ de haut ; du sol se dégage de l'ammoniaque qui forme une couche d'un mètre de hauteur environ, surmontée d'une couche d'air respirable.

3224. S'il s'agit de l'air rejeté par la respiration, le mélange dont il est constitué a presque exactement la même densité que l'air à la même température, et comme il a une température plus élevée que celle de l'air ambiant, il tend à s'élever, quoique d'ailleurs il contienne une assez forte proportion d'acide carbonique. Aussi dans les salles qui n'ont pas une très-grande hauteur, qui ne sont que peu ou point ventilées, et où par conséquent le mélange n'est pas facilité, il peut se faire qu'on trouve à la partie supérieure, en même temps qu'une température plus élevée, une plus forte proportion d'acide carbonique ; nous citerons à ce sujet les expériences du docteur Pettenkofer, de Munich, sur les proportions d'acide carbonique contenues dans l'atmosphère d'une salle d'hôpital. A l'hospice de la Maternité de Munich, dans une salle de $12^m,50$ de long, de $8^m,45$ de large et de $4^m,40$ de haut, qui n'était pas ventilée et qui était occupée par des femmes en couche, on a trouvé pour la proportion d'acide carbonique contenu dans l'air sur 1000 parties en volume en trois points différents près du plancher 2,20 ; 2,24 ; 2,27, et sur deux points près du plafond 2,69 et 2,63 ; dans une autre salle ventilée occupée par cinq accouchées et quatre nouveau-nés, on a trouvé à $0^m,15$ du sol 0,38 et 0,39 pour 1000 d'acide carbonique et à $0^m,60$ au-dessous du plafond 0,68 et 0,74 ;

la température était de 20°,50 près du plancher et de 21°,30 près du plafond. On voit donc que dans ce cas les mouvements de l'air dans une salle habitée, provoqués par l'élévation de la température, peuvent produire une influence toute contraire à celle qu'on serait tenté d'attribuer à un excès de densité.

3225. Il ne suffit pas de se préoccuper de ventiler les lieux habités, il faut en même temps se préoccuper d'en diminuer l'infection en prenant toutes les mesures de propreté nécessaire ; il faut assurer le nettoyage des parquets, des murs ; avoir des cuisines, des lieux d'aisances inodores, etc.

3226. *Température de l'air à introduire dans la salle.* — On peut facilement, étant donnée la température qu'il s'agit de maintenir dans la salle, déterminer celle de l'air de ventilation ; supposons que la température extérieure soit plus basse que la température intérieure ; il faudra d'abord calculer la quantité de chaleur perdue en une heure par les parois de la pièce d'après les nombres du n° 2476 ; on calculera d'autre part la quantité de chaleur produite aussi en une heure par la présence des habitants et des appareils d'éclairage ; pour chaque personne occupant la pièce on prendra 100 calories environ par heure ; pour les appareils d'éclairage on déduira la quantité de chaleur produite de la consommation et de la puissance calorifique de la matière éclairante, qu'on pourra toujours calculer approximativement d'après la composition de cette substance. On fera la différence entre la quantité de chaleur perdue par les parois et celle qui est produite par la présence des occupants et les appareils d'éclairage, et on la divisera par le produit qu'on obtiendra en multipliant le nombre de personnes par le volume d'air accordé à chaque personne et ensuite par la capacité calorifique de l'air ; le quotient sera le nombre de degrés dont l'air amené dans la salle devra être au-dessous ou au-dessus de la température qu'il faut maintenir dans la salle suivant que la quantité de chaleur perdue par les parois sera plus petite ou plus grande que la quantité de chaleur produite par les personnes occupant la salle et les appareils d'éclairage ; dans le calcul, il faudra assimiler chaque bec de gaz à une personne.

Si l'excès de température qu'on doit donner à l'air introduit était trop considérable, on pourrait augmenter la quantité de chaleur produite intérieurement en y plaçant des poêles à rayonnement direct qui varieraient suivant le mode de chauffage adopté.

Si la température extérieure était plus élevée que celle qu'on doit maintenir dans la salle, il faudrait ajouter la quantité de chaleur

transmise à celle qui est produite à l'intérieur, le reste du calcul serait le même et on obtiendrait le nombre de degrés dont la température de l'air qu'on introduit doit être au-dessous de celle qu'on veut conserver dans la pièce.

Quand l'air devra être ainsi rafraîchi avant l'entrée, on devra avoir recours aux procédés que nous avons indiqués dans le chapitre XIII du présent livre.

3227. *Appareils de chauffage.* Quant aux appareils de chauffage à employer, nous renvoyons à ce que nous avons dit dans le corps de l'ouvrage. Nous pouvons cependant dire que, si l'on a de faibles espaces à chauffer, on pourra employer des poêles à enveloppe; dans le cas de chauffages plus considérables, on pourra employer des calorifères à air chaud; si les causes de variation de température sont peu considérables, on pourra employer le chauffage à eau chaude, enfin, dans le cas de chauffages d'édifices considérables, et quand la chaleur doit être disséminée sur un grand nombre de points, l'emploi de la vapeur, soit seule, soit agissant par l'intermédiaire de poêles à eau comme à l'Hôtel-Dieu ou à l'hôpital Ménilmontant, se trouve tout naturellement indiqué, à cause de la facilité que présente ce mode de chauffage de transporter la chaleur au loin et d'en faire varier l'action à volonté.

3228. *Modes de ventilation.* Quant au procédé qu'il faudra employer pour produire la ventilation, toutes les fois que le bâtiment à ventiler présentera peu d'importance, on aura recours à la ventilation par appel. Dans ce cas, si le chauffage se fait au moyen de calorifères, on pourra, en les plaçant en contre-bas de la pièce à chauffer et à une distance suffisante en hauteur, obtenir une certaine vitesse d'arrivée de l'air dans les pièces et atténuer ainsi en partie les inconvénients de l'appel en diminuant la dépression qui se produit dans les salles ventilées par ce procédé.

On pourra encore employer ce procédé dans le cas d'édifices importants, mais pourvus de services indépendants devant être chauffés à part, en disposant sur différents points de l'édifice les calorifères nécessaires, de façon, en diminuant la longueur des conduites d'air chaud, à diminuer la perte de chaleur qui se produit sur le parcours.

3229. Dans les grands édifices, où la ventilation devra être considérable, l'emploi de la pulsion aura des avantages évidents : nous ne rentrerons pas dans la discussion des avantages comparés des deux systèmes de ventilation; la pulsion est actuellement entrée

complétement dans la pratique; nous avons donné de nombreux exemples de l'emploi récent de ce mode de ventilation en France aussi bien qu'à l'étranger. Il sera bon, et c'est là le mode qui paraît devoir définitivement s'établir, de joindre à l'emploi de la pulsion pour l'introduction de l'air celui de l'appel pour l'évacuation, celui-ci pouvant d'ailleurs être produit par une cheminée ou par une action mécanique. C'est l'emploi de ce double mode qui a produit les résultats heureux obtenus au théâtre de Vienne, c'est celui qui a été employé dans les deux grands hôpitaux récemment construits à Paris, c'est celui qu'on emploiera à l'Hôtel de ville qu'on reconstruit actuellement; c'est celui enfin qu'on doit installer au palais du Trocadéro, construit pour l'Exposition universelle de 1878.

3230. Parmi les faits qui ont été indiqués pour mettre en garde contre l'emploi de la pulsion, on a cité une expérience de M. Wilkinson qui est relatée dans la *Sidérotechnie d'Hassenfratz.*

M. le général Morin cite tout au long, dans ses études sur la ventilation, cette expérience, dans laquelle des tuyaux en fer de $0^{m},325$ de diamètre avaient été employés pour porter en ligne droite l'air comprimé, par une machine soufflante, à un haut fourneau qui se trouvait à une distance de 1525 mètres. A cette distance, et quoique toute la force de la machine eût été mise en œuvre, on ne constata pas la moindre vitesse de l'air à la sortie; on se servait d'une lumière pour faire cette constatation; on vérifia que le tuyau n'était point obstrué en le faisant traverser par un *chat.* M. le général Morin dit bien que la naïveté de la relation prouve que l'auteur était *peu familiarisé avec les lois de la mécanique* et que les conclusions indiquées sont trop absolues, mais il admet cependant en partie la valeur de l'expérience puisqu'il dit: « J'ai cru devoir la citer pour montrer que le mouvement de l'air dans des tuyaux d'une grande longueur peut donner lieu à des pertes de pression, à des fuites difficiles à constater, qui diminuent considérablement le débit sur lequel on croirait pouvoir compter, d'après des observations faites avec des anémomètres ou d'autres appareils à l'origine des conduites. » Il nous est impossible d'attacher aucune espèce de valeur à cette expérience; les tuyaux employés devaient présenter des fuites énormes. Il suffit de voir en effet ce qui se passe dans les conduites de gaz d'éclairage, dont la longueur, pour une ville comme Paris, est bien plus considérable que celle dont il est question dans l'expérience citée, qui présentent à chaque instant des coudes, des variations de section, etc., et au moyen desquels, sous l'influence

d'une pression de quelques centimètres d'eau dans le gazomètre, on obtient cependant, sur tout le parcours et jusqu'à l'extrémité, une vitesse notable de sortie par les orifices presque capillaires de tous les becs.

5231. *Orifices d'introduction et de sortie de l'air de ventilation.* Il y a, relativement à ces orifices, deux problèmes particuliers à résoudre : le premier est relatif à la section qu'il convient de leur donner, le second à la place qu'ils doivent occuper dans les parois de la pièce à ventiler.

3232. Quant à la section, il sera important de la prendre toujours suffisante pour que la vitesse de l'air, à son entrée ou à sa sortie, ne soit pas trop considérable ; c'est surtout pour les orifices placés à proximité des personnes qui occupent la salle que cette condition est nécessaire. On ne devra pas prendre, en général, de vitesse supérieure à un mètre. On a vu les résultats excellents obtenus au théâtre de l'Opéra de Vienne, en calculant les orifices d'accès de façon à ce que la vitesse de l'air neuf ne dépasse pas $0^m,30$ par seconde.

3233. La position qu'il convient de donner aux orifices d'accès ou de sortie de l'air varie suivant les conditions où l'on se trouve. On admet généralement qu'il y a lieu de modifier la position des orifices de sortie suivant la saison. En été, l'air frais introduit à la partie inférieure de la salle, échauffé par la présence des personnes ou des appareils d'éclairage, prendra un mouvement ascendant, en vertu de sa diminution de densité, et on fera sortir l'air vicié par le haut. En hiver, l'air neuf, plus chaud que celui de la salle, étant introduit vers le bas ou à une certaine hauteur au-dessus du sol, s'élèvera rapidement au plafond, et, pour ramener l'air pur en contact avec les organes respiratoires des assistants, il faudra placer les orifices d'évaporation à la partie inférieure : l'air, en se refroidissant, descendra en couches sensiblement isothermes jusqu'aux orifices de sortie.

3234. L'air de la respiration étant à une température sensiblement plus élevée que celle de la salle, les produits expirés s'élèvent avec une assez grande vitesse vers le plafond, où tend à se rendre par conséquent l'air vicié dans tous les cas. La ventilation d'été, disposée comme nous l'avons dit, ne laissera rien à désirer, puisque le courant d'air neuf, arrivant constamment à la hauteur des organes respiratoires des assistants, enlèvera dans son parcours l'air vicié qui suivra le même chemin et ne pourra plus faire retour vers les poumons des personnes présentes. Il n'en est plus de même dans le

cas de la ventilation d'hiver, pour laquelle l'air chaud et neuf qui s'élève, entraîne avec lui les produits de la respiration pulmonaire et cutanée et les ramène ensuite vers le bas, c'est-à-dire fait respirer à nouveau un air partiellement vicié.

3235. Il serait assurément désirable qu'il n'en fût pas ainsi et on pourrait s'arranger de façon à conserver en toute saison les dispositions indiquées pour la ventilation d'été; il suffirait pour cela de faire arriver l'air dans la salle à une température un peu inférieure à celle qui doit être la température normale de la salle, en compensant la quantité de chaleur perdue par les murs et en suppléant à celle qui manque à l'air neuf au moyen de surfaces de chauffe apparentes et non ventilatrices, placées dans la pièce.

Il nous paraît donc convenable de faire, dans tous les cas, arriver l'air neuf au plus près des personnes présentes et d'éloigner les orifices d'évacuation. Il est évident qu'en faisant l'inverse, et c'est ce que l'on fait souvent, c'est de l'air vicié déjà qu'on fournit à la respiration. Les dispositions que nous recommandons, appliquées au théâtre de l'Opéra de Vienne, ont eu pour effet de placer les auditeurs dans un bain d'air neuf et constamment renouvelé, ce qui constitue évidemment la meilleure condition de bien-être.

3236. Si les éléments du problême paraissent assez simples et permettent de le résoudre *à priori*, quand il s'agit de salles habitées par des personnes à l'état de santé, il n'en est plus de même lorsqu'il s'agit de l'air des salles d'un hôpital. Dans ce cas, interviennent les germes morbides qui flottent dans l'air et qui doivent être entraînés dans le courant de la circulation de l'air. C'est peut-être parce qu'on n'a pas suffisamment considéré ce côté du problème que la ventilation des hôpitaux ne paraît pas avoir eu, au point de vue de la mortalité dans ces établissements, des résultats aussi satisfaisants qu'on aurait pu le désirer. L'air, en effet, dans l'intérieur des salles, ne possède qu'un mouvement très-lent; les corpuscules morbides qui s'y trouvent flottent et peuvent, obéissant à leur poids, retomber peu à peu ou même se maintenir à l'état d'équilibre et s'accumuler dans la pièce, sans être évacués. Dans ce cas, la détermination, *à priori*, de la position des orifices d'arrivée et de sortie de l'air nous paraît impossible et ce n'est qu'au moyen d'expériences suivies et variées qu'on pourrait obtenir une solution exacte du problème.

3237. *Prises d'air.* Les prises d'air neuf devront toujours être établies sur un point complétement à l'abri de toute espèce d'éma-

nation putride ou malsaine; il sera toujours utile de les placer à une certaine hauteur au-dessus du sol, et quand cette hauteur sera un peu grande, non-seulement on obtiendra de l'air plus pur, mais encore cet air sera plus frais en été.

3238. *Cheminées d'évacuation.* Elles ne devront pas avoir une section trop large; il est bon, en effet, que l'air, à la sortie, ait une vitesse suffisante pour combattre l'effet des vents; le sommet de cette cheminée devra toujours être muni d'un chapeau pour l'opposer à la même action. Le débouché de la cheminée d'évacuation devra toujours être très-éloigné des orifices de prises d'air; il est important, en effet, que l'air évacué ne puisse pas faire retour aux pièces ventilées.

CONDITIONS QUI ME PARAISSENT NÉCESSAIRES AU PROGRÈS DU CHAUFFAGE ET DE L'ASSAINISSEMENT DES GRANDS ÉTABLISSEMENTS PUBLICS.

De grands progrès ont été faits récemment dans les appareils destinés au chauffage et à la ventilation des établissements publics, mais on est loin d'affirmer qu'il ne reste plus rien à faire. J'ai pensé qu'il ne serait pas sans utilité de dire mon opinion sur les mesures qui me paraissent les plus propres à accélérer ces progrès. Je ne parlerai que des grands établissements dépendant des administrations publiques.

1° La première condition consiste dans un concours public, avec des juges compétents et désintéressés, comme cela a eu lieu pour tous les concours qui ont été établis en France. Par suite, suppression des concessions faites par faveur à des entrepreneurs privilégiés.

2° Publication des délibérations du jury, comme cela a eu lieu pour la prison de Mazas.

3° Respect par l'Autorité des décisions du jury, parce qu'on ne peut pas admettre qu'une seule personne, ou une réunion de personnes, souvent étrangères à la question, soit établie comme juge d'une décision prise à la suite d'études sérieuses, faites par un jury dont chaque membre devient responsable de son opinion par la publicité.

4° Publication dans les recueils industriels des dessins des appa-

reils et des expériences faites par la commission de réception. Les véritables ingénieurs ne pourraient que gagner à ces publications, car il n'y a point de secrets dans les appareils de chauffage et de ventilation; les expériences faites profiteraient à tout le monde; et les inventions de chacun, protégées par des brevets, ne courraient aucun risque.

Quant aux conditions imposées dans les programmes, elles seraient relatives à la température, à la pureté de l'air, au volume total de la ventilation directe, c'est-à-dire de l'air introduit par les voies prévues et non par les joints des portes et des fenêtres, à la répartition uniforme de cet air dans la direction convenable pour que la ventilation soit efficace, à des indicateurs permanents de la ventilation visibles pour tout le monde, et à des appareils enregistrant continuellement la ventilation en été aussi bien qu'en hiver.

Ces conditions feraient faire, sans aucun doute, des progrès rapides à l'industrie dont il s'agit, qui est si importante pour l'humanité. Elles auraient surtout le grand avantage d'éloigner les fumistes qui par leur ignorance ont si souvent compromis l'état sanitaire des établissements qui leur ont été confiés. Les phénomènes qui se produisent dans le chauffage et la ventilation des grands établissements publics sont très-compliqués, ne peuvent être compris que par des hommes instruits et expérimentés, et ne sont pas du ressort des poêliers fumistes ; il est temps que la construction de ces appareils sorte complétement de leurs mains ; les preuves de leur insuffisance ont coûté assez cher.

FIN.

TABLE DES MATIÈRES

RENFERMÉES DANS LE TROISIÈME VOLUME.

LIVRE XII

Chauffage des liquides.

		Pages.
CHAPITRE	I. Chauffage direct des liquides	1
—	II. Chauffage par la vapeur	5
—	III. Chauffage par circulation	9
—	IV. Chauffage d'un liquide par échange de température avec un autre liquide	10
—	V. Chauffage des bains	21
—	VI. Blanchissage	27
—	VII. Appareils d'économie domestique	35
	Fourneaux de cuisine	35
	Chauffage des bains à domicile	57
	Appareils de torréfaction du café	58
	Emploi du gaz d'éclairage dans l'économie domestique	59
	Observations sur les différents appareils employés dans la préparation des aliments	66
	Chauffage des fours à cuire le pain	71

LIVRE XIII

Chauffage des corps solides.

CHAPITRE	I. Considérations générales	75
—	II. Fours a chaux	77
	Fours intermittents	77
	Fours à feu continu	78
—	III. Fours a platre	83
	Appareils particuliers employés à la cuisson du plâtre	85
—	IV. Fours a briques et a poteries	87

Pages.

CHAPITRE V. CHAUFFAGE DES CORPS SOLIDES PAR LA VAPEUR SURCHAUFFÉE..... 93
— VI. CHAUFFAGE DES CORPS SOLIDES A DES TEMPÉRATURES ÉLEVÉES ET UTILISATION DES CHALEURS PERDUES..... 96

LIVRE XIV

Du refroidissement.

CHAPITRE I. CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES SUR LE REFROIDISSEMENT DANS L'AIR... 109
— II. DISPOSITIONS PROPRES A RETARDER LE REFROIDISSEMENT DES CORPS.. 110
— III. DISPOSITIONS PROPRES A ACCÉLÉRER LE REFROIDISSEMENT DES CORPS.. 111
— IV. REFROIDISSEMENT DES CORPS AU-DESSOUS DE LA TEMPÉRATURE AMBIANTE. — PRODUCTION ET CONSERVATION DE LA GLACE..... 120

LIVRE XV

Chauffage et ventilation des lieux habités.

CHAPITRE I. CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES..... 173
Volumes d'air nécessaires à la respiration et aux appareils d'éclairage..... 174
Chaleur produite par la respiration..... 182
Ventilation naturelle..... 183
Ventilation par la chaleur..... 188
Cheminées d'appel appelant de l'air à la température extérieure. 190
Cheminées d'appel appelant de l'air à une température constante, différente de la température extérieure..... 203
Différents modes de chauffage des cheminées d'appel..... 210
Ventilation mécanique..... 215
Remarques sur les mouvements de l'air dans les lieux ventilés. 218
Observations générales sur les différents modes de chauffage. 220
— II. CHAUFFAGE ET ASSAINISSEMENT DES HABITATIONS PARTICULIÈRES.... 234
Chauffage par le sol..... 234
Chauffage direct par la combustion..... 234
Chauffage de l'air des appartements par le rayonnement du combustible dans des foyers ouverts..... 236
Chauffage intérieur par les poêles 263
Cheminées-poêles..... 274
Chauffage par le gaz..... 275
Examen des différents modes de chauffage employés..... 278
Modes de chauffage et de ventilation les plus convenables dans les différents cas..... 286
— III. CHAUFFAGE ET VENTILATION DES GRANDES SALLES DE RÉUNION, PALAIS, AMPHITHÉATRES, THÉATRES, ETC..... 296
Bourse de Paris..... 296
Ancienne Chambre des communes de Londres..... 299
Palais du Luxembourg..... 301
Palais-Bourbon..... 307

Pages.
Palais du quai d'Orsay 308
Grand amphithéâtre du Conservatoire des arts et métiers 310
Bâtiment des études et des archives du matériel de la Compagnie des chemins de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée 316
Théâtres 319
Hôtel continental, à Paris 342
Hôtel de ville de Paris 347
Palais d'hiver de l'Empereur de Russie à Saint-Pétersbourg .. 354
Observations générales sur le chauffage des grandes salles de réunion, des palais, des grands amphithéâtres, des théâtres, etc., etc. 356
CHAPITRE IV. Chauffage et assainissement des églises 366
Église de la Madeleine 366
Église Saint-Roch 368
Église Saint-Vincent de Paul 380
Église Saint-Sulpice 381
Cathédrale de Belley (Ain) 385
Observations générales sur le chauffage des églises 386
— V. Chauffage et assainissement des prisons 391
Prison Mazas 391
Expériences de la sous-commission 396
Prison cellulaire de Provins 417
Prison cellulaire de Tours 421
Renseignements sur quelques autres prisons 424
Observations sur le chauffage et la ventilation des prisons ... 426
— VI. Chauffage et assainissement des hospices et hôpitaux 431
Hospice de Charenton 433
Hôpital Beaujon 434
Hôpital Necker 435
Hôpital Lariboisière 436
Appareil de M. Duvoir-Leblanc 439
Appareil du système de la ventilation par pulsion 462
Quelques autres hôpitaux de Paris 497
Hôpital militaire de Vincennes 498
Hôpital militaire de Bourges 502
Nouvel hôpital de Ménilmontant à Paris 504
Nouvel Hôtel-Dieu de Paris 511
Hôpitaux étrangers 513
Observations sur le chauffage et la ventilation des hôpitaux .. 519
— VII. Chauffage et assainissement des écoles primaires et des salles d'asile, des maisons d'éducation, etc. 532
Écoles primaires et salles d'asile 532
Maisons d'éducation 555
— VIII. Assainissement des casernes 560
— IX. Chauffage et assainissement des ateliers 566
Ventilation du dépotoir de la Villette 578
Magnaneries 583
— X. Ventilation des mines 585
Cheminées d'appel élevées au-dessus du sol avec foyer latéral au bas de la cheminée 587
Cheminées intérieures avec foyer à une grande profondeur .. 588

Pages.

CHAPITRE XI. CHAUFFAGE DES SERRES..... 590
— XII. VENTILATION DES NAVIRES..... 596
— XIII. RAFRAICHISSEMENT DES ATELIERS..... 598
— XIV. EXAMEN RÉSUMÉ DES CONDITIONS DE LA VENTILATION DES LIEUX HABITÉS 600
Conditions qui me paraissent nécessaires au progrès du chauffage et de l'assainissement des grands établissements publics..... 613

FIN DU TROISIÈME VOLUME.

1716-75. — CORBEIL. Imprimerie de CRÉTÉ.

ERRATA

TOME I.

Pages.	Lignes.		Au lieu de :	Lisez :
18	3		ent	tient
55	4	en remontant	Buinet	Burnat
64	10	en remontant	59,00	5900
79	14	en remontant	1,35	1,55
102	12	en remontant	de rendement	Le rendement
104	1		des fours	de ces fours
108	2	en remontant	points	coins
112	3		Carre	Carr
112	6	en remontant	le	ce
122	8		$4^{m}3,253$	$4^{k},253$
123	11	au dénominateur	$251 + 0,00367 + 100$	$2\,[1 + 0,00367 \times 100]$
131	2	en remontant	Celle-ci	Celui-ci
171	1	en remontant; au dénominateur	29	2 g
175	6	à l'exposant	$\frac{K}{}$	$\frac{K - 1}{K}$
205	1	en remontant	$\frac{D^{m4}}{D^{4}}$	$\frac{D^{4}}{D^{m4}}$
225	7	en remontant	$4^{m},905$	4905^{m}
249	9		p et p	p_0 et p.
253	8	en remontant	enfermée	exprimée
276	8		528	524
276	2	en remontant	525	523
284	1		466	464
285	7	en remontant	$\frac{v}{V_1}$	$\frac{V}{V_1}$
293	8	en remontant	$P - p$	$\frac{P - p}{p}$
296	16		indifféremment	indéfiniment
307	3	en remontant	$1 + at$	$(1 + at)^2$
333	4		le feu	un feu de cheminée
357	8		Hariez	Havrez
407	1	en remontant	leurs gazogènes	un de leurs gazogènes
			vapeur	vapeur surchauffée
418	17		soudés	réunis
455	18	en remontant	la charge	la charge de minerai
	1	en remontant	en 1850	en 1850 ou 1857.
457	11		porte	partie.
	17		cloche; mais, à l'extrémité opposée	cloche, mais à l'extrémité opposée
461	20		Pont-Créqui	Pont-Évêque
463	20		au-dessous	au-dessus
473	11		gazomètre	gazogène
	26		générateurs	régénérateurs

TOME II.

Pages.	Lignes.	Au lieu de :	Lisez :
4	10 en remontant	fig. 186	fig. 188
17	6 en remontant	ondu	fondu
	1 en remontant	25	52.
21	1	per	perte
39	4	fig. 213	fig. 211
99	16	613	611
153	1	au-dessus	au-dessous
155	17 en remontant	fonction	formation
157	13 en remontant	affective	effective
161	4	fermer	former
165	3	composant	comparant
	12	intérieurs	extérieurs
166	8	1820	1829
169	5 en remontant	vapeur	valeur.
176	11 en remontant	fumée	feu
	6 en remontant	formée	forcée
	2 en remontant	placées	planes
177	7	fumée	feu
182	6	il y a peu	il n'y a pas
	10	dépôt	départ
183	15	point	joint
185	7	d'acier	d'arrière
198	1 en remontant	des chaudières	du chaudron
207	21	intérieure	extérieure
	22	foyers	forges
	24	intérieure	extérieure
	25	extérieure	intérieure
209	22	diamètre	grand diamètre
	31	fer	force
227	8	de l'air	et l'air
	9	surface des tubes	surface du foyer et des tubes
246	7	313	310
248	19	312	311
332	2	la clairce et	la clairce est
517	1	0.15	0,10
524	4	0,70	9,00
	5 en remontant	inégalement	également
525	17 en remontant	en tôle et en fonte	en tôle ou fonte
529	23	des gaz	de l'air

TOME III.

94	16 en remontant	fer	fonte
188	13 en remontant	fig. 615	fig. 612
	8 en remontant	fig. 616	fig. 613
287	10 en remontant	fig. 667	fig. 668
	4 en remontant	fig. 671	fig. 667
442	11	l'exposition universelle	l'exposition universelle de 1855
450	7 en remontant	réserve	rivure
454	6	les expériences	. Les expériences

Pages.	Lignes.	Au lieu de :	Lisez :
457	21	le rapport	le rapport de la commission
464	8	l'intérieur	l'extérieur
466	15 en remontant	d'eau	d'eau en 48 heures
	8 en remontant	hautes	de hauteurs et
	7 en remontant	formés	fermés
467	15 en remontant	par le pavillon	pour le pavillon
	14 en remontant	par	pour
468	1	visible et accessible	visibles et accessibles
473	14	auprès	ou auprès
476	18	d'eau	d'air
	19	pourrait	pouvait
	1 en remontant	de toute	dans toutes
481	19 en remontant	leur ouverture accidentelle	les ouvertures accidentelles
494	4	de l'appel	de la pulsion
495	3	l'appel est	l'appel est, depuis la régie
496	10	ce chiffre	le chiffre
	14	consommation	consommation estimée
510	10 en remontant	font	fonte
600	18	pourra	peut
601	9 en remontant	obtenir	atteindre
603	12	0,003	0,0003

89088904982

b89088904982a